



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

ENERGY USE OF BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV NOSEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MOSKALÍK

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Nosek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití biomasy

v anglickém jazyce:

Energy use of biomass

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá sloučením dvou atraktivních témat současné energetiky a to využíváním biomasy pro energetické účely a společná výroba elektrické energie a tepla. Hlavní náplní je zmapování těch technologií energetického využití biomasy, které se dají s kogenerací spojit.

Cíle bakalářské práce:

- 1/ Vypracování rešerše technologií zpracování biomasy s důrazem na kogeneraci
- 2/ Provedení porovnávacího výpočtu

Seznam odborné literatury:

Pastorek, Kára, Jevič: Biomasa, obnovitelný zdroj energie

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Moskalík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 26.10.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je vypracovanie rešerše možností využitia biomasy na energetické účely. V prvej časti sa práca venuje popisu základných vlastností biopalív, ktoré ovplyvňujú ich následné využívanie ako zdroja energie. Okrem toho je uvedený i prehľad a popis niektorých konkrétnych technológií výroby energie z biomasy. Druhá časť práce je venovaná využívaniu biomasy v kogenerácii. Rovnako je uvedený i popis jednotlivých kogeneračných systémov, ktoré sa v súčasnosti využívajú. V tretej časti je vypracované porovnanie bilancie nákladnosti prevádzky zariadenia využívajúceho biopalivo a konvenčného typu zariadenia na zemný plyn.

ABSTRACT

The point of this bachelor thesis is to make out a retrieval for energy use of biomass. In the first part, there is a description of basic energy features of biofuels, which influence their use as an energy source. There is also listed a description of some technologies for production of energy from biomass. The second part of the thesis is dealt with using biomass in cogeneration. Even that there is a description of some cogeneration systems presently use in any energy applications. In the third part, there is made out a comparison of expensiveness of using conventional unit with natural gas combustion and using a units with biofuel combustion.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

biomasa, bioplyn, spaľovanie, splyňovanie, pyrolýza, kogenerácia, trigenerácia

KEYWORDS

biomass, biogas, combustion, gasification, pyrolysis, cogeneration, trigeneration

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

NOSEK, M. *Energetické využití biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Moskalík

PREHLÁSENIE O PÔVODNOSTI

Svojím podpisom prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne, za pomoci zdrojov uvedených v prehľade literatúry.

.....

Podpis

POĎAKOVANIE

Ďakujem svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Jiřímu Moskalíkovi za cenné rady, pripomienky a hlavne čas, ktorý mi venoval pri vypracovávaní tejto práce.

OBSAH

Úvod	11
1 Biomasa	12
1.1 Biomasa a jej vznik	12
1.2 Rozdelenie biomasy z viacerých hľadísk	13
1.3 Prvkové zloženie biomasy	14
1.3.1 Škodlivé účinky prvkov biomasy	14
1.4 Energetické vlastnosti biomasy	16
1.4.1 Vlhkosť biomasy	16
1.4.2 Výhrevnosť a spalné teplo	18
1.4.3 Obsah popola	20
1.4.4 Zloženie horľaviny paliva	22
1.4.5 Objemová hmotnosť paliva (hustota)	22
1.4.6 Sypná hmotnosť paliva	22
1.5 Charakteristika palív z biomasy	23
1.6 Spôsoby využívania biomasy na energetické účely	24
1.6.1 Termochemická premena biomasy	24
1.6.1.1 Spaľovanie	25
1.6.1.2 Splyňovanie	31
1.6.1.3 Pyrolýza	33
2 Biomasa v kogenerácii	36
2.1 Technologické systémy v kogenerácii	37
2.1.1 Menšie zdroje	37
2.1.1.1 Kogeneračné zariadenie so spaľovacím motorom	38
2.1.2 Väčšie zdroje	40
2.1.2.1 Kogeneračné zariadenie so spaľovacou turbínou	40

2.1.2.2	Kogeneračné zariadenie s parnou turbínou	42
2.1.2.3	Kogeneračné zariadenie na báze paroplyn. cyklu	45
2.2	Biopalivá pre kogeneráciu	46
2.2.1	Bioplyn	46
2.2.1.1	Biomasa vhodná na výrobu bioplynu	46
2.2.1.2	Výroba bioplynu	48
2.2.1.3	Bioplynová stanica (BPS)	50
2.3	Vyššie stupne využívania palív	51
3	Porovnanie nákladnosti prevádzky energetických zariadení	53
	Záver	57
	Zoznam použitej literatúry	58
	Zoznam použitých obrázkov	60

Úvod

So zvyšujúcim sa rastom populácie a celkovým rozvojom ľudstva stúpa i spotreba palív a energií. V súčasnej dobe sú hlavnými zdrojmi energie tzv. fosílna palivá, ktorých využívanie však so sebou prináša viaceré negatíva. Medzi najzávažnejšie patrí znečisťovanie životného prostredia a hlavne obmedzenosť množstva zásob týchto zdrojov, ktoré sú pri súčasnom trende odhadované len na niekoľko sto rokov. Preto je vhodné zavádzanie a využívanie alternatívnych zdrojov energie, a to najmä obnoviteľných. Existuje viacero druhov obnoviteľných zdrojov energie (OZE), medzi ktoré patrí i biomasa.

Biomasa má v porovnaní s ostatnými formami obnoviteľných zdrojov energie (veterná, vodná, solárna) tú výhodu, že je možné ju využívať takmer na celom svete. Celosvetové zásoby biomasy sú obrovské a ročná produkcia energie uložená v biomase v procese fotosyntézy niekoľkonásobne presahuje ročnú celosvetovú spotrebu. Využívanie biomasy na energetické účely má za následok viacero pozitív. Tým, že sa energetická spotreba rozdelí na viacero zdrojov, zníži sa spotreba primárne využívaných fosílnych palív, čo má za následok znížovanie produkcie škodlivých emisií z ich spaľovania. Pre rozvoj každej krajiny je nevyhnutné rozvíjať možnosti viacerých zdrojov energie, a tým sa snažiť o diverzifikáciu energetických zdrojov. V súčasnej dobe je zavádzanie a využívanie energie z biomasy vo veľkom podporované i Európskou úniou (EÚ), čo rovnako evokuje trend v znižovaní využívania fosílnych palív, a tým redukcii ich škodlivých vplyvov. Nevýhodou výroby energie z biomasy sú najmä vysoké náklady na zariadenia schopné z biopalív produkovať úžitkovú energiu. Toto negatívum je z časti redukované práve finančnou podporou zo strany EÚ.

V súčasnosti patrí medzi atraktívne spôsoby využívania energie z biomasy spoločná výroba elektrickej energie a tepla, tzv. kogenerácia. Jedná sa o pokročilú technológiu hospodárneho využívania energetického potenciálu biopalív. Kogeneračná technológia nachádza uplatnenie u menších i väčších zdrojov energií, ako sú napr. bioplynové stanice (BSP), teplárne a i. Podľa niektorých odborníkov by mohli v budúcnosti byť viaceré tepelné elektrárne spaľujúce uhlie nahradené tepelnými elektrárnami využívajúcimi kogeneračné spaľovanie biopalív.

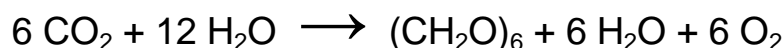
1. Biomasa

1.1 Biomasa a jej vznik

Pod pojmom biomasa sa rozumie substancia (látka) biologického pôvodu, vznikajúca pri pestovaní rastlín v pôde alebo vo vode, chove živočíchov, produkcii organického pôvodu a produkcii organických odpadov. Získava sa buď zámerným pestovaním ako výsledok výrobnjej činnosti, alebo sú jej zdrojom odpady z poľnohospodárskej, potravinárskej a lesnej výroby, z komunálneho hospodárstva, z údržby a starostlivosti o krajinu. [6]

Z energetického hľadiska, biomasa predstavuje potenciálny zdroj energie, ktorý vieme pomocou vhodných technologických postupov a zariadení premieňať priamo na určité formy energie, najmä energiu elektrickú a tepelnú. V podstate sa jedná o využívanie slnečnej energie, ktorá sa v zložitom procese fotosyntézy transformovala na chemickú energiu väzieb v zelených rastlinách. Napriek zložitosti fotosyntetického procesu, je možné ho popísať rovnicou:

slnečná energia



chlorofyl

Po značnom zjednodušení, sme jej priebeh schopní rozdeliť do dvoch fáz. V prvej, tzv. svetelnej fáze, sa pohlcuje svetelné žiarenie, ktoré sa prostredníctvom chlorofylu premieňa na chemickú energiu väzieb a dochádza k rozkladu vody za vzniku kyslíka. V druhej, tzv. temnej fáze, dochádza k fixácii oxidu uhličitého do molekúl sacharidov, ktoré ďalej slúžia buď ako zásobáreň energie, alebo ako stavebná jednotka pri tvorbe zložitejších molekúl, napr. polysacharidov a bielkovín, potrebných pre rast buniek a transport živín. [8]

Pre vznik biomasy je fotosyntéza základnou chemickou reakciou, a teda veľkosť produkcie biomasy závisí na jej intenzite. Intenzitu fotosyntézy ovplyvňujú nasledujúce faktory: [8]

- **Svetlo** - rastliny absorbujú asi 2 - 3% dopadajúceho svetla, najmä prostredníctvom listov. Maximálna absorbcia nastáva pri vlnových dĺžkach odpovedajúcich červenému svetlu (640 - 700 nm), prípadne modrému svetlu (430 - 460 nm),
- **CO₂** - koncentrácia oxidu uhličitého v ovzduší je približne 0,02 - 0,03 %. Najnižšou koncentráciou, pri ktorej fotosyntéza prebieha, je okolo 0,008 - 0,010 %. So zvyšujúcou sa koncentráciou CO₂ v ovzduší vzrastá aj intenzita fotosyntézy, až pokým sa neustáli, a to pri koncentrácii 0,06 - 0,4 %,

- **Voda** - tá má v procese fotosyntézy viacero dôležitých úloh a jej prílišný nedostatok má na rastliny neblahý vplyv. Na druhej strane, maximálna intenzita fotosyntézy nastáva práve vtedy, keď je vodný deficit, a to na úrovni 5 - 25 % z celkového nasýtenia,
- **Teplota** - pri nižších hodnotách teploty, prebieha proces fotosyntézy pomaly. Pri zvyšovaní teploty sa intenzita fotosyntézy zvyšuje, a to až do istého teplotného optima. Po jeho prekročení intenzita klesá.

Hodnoty uvedené u jednotlivých faktorov ovplyvňujúcich intenzitu fotosyntézy sú zväčša orientačné, pretože u rôznych typov rastlín pozorujeme rôzne vhodné kombinácie hodnôt týchto faktorov.

1.2 Rozdelenie biomasy z viacerých hľadísk

Na začiatku práce sme si uviedli definíciu biomasy a ako vzniká. Keďže neexistuje iba jeden druh biomasy, ale je známych viacero druhov, je vhodné uviesť taktiež isté formy rozdelenia, ktorými sú jednotlivé druhy biomasy zaradené do väčších skupín na základe vybraných spoločných vlastností.

Tým najzákladnejším rozdelením biomasy je rozdelenie z hľadiska pôvodu, kedy biomasu delíme na: [6]

- **rastlinnú biomasu, ktorú ďalej delíme na:**
 - a) fytomasu - túto skupinu tvoria jednoročné, viacročné rastliny, zušľachtené energetické plodiny,
 - b) dendromasu - drevná biomasa,
- **živočíšnu biomasu - zoomasu,**
- **odpady z domácností a priemyselné odpady drevospracujúcich závodov.**

Ďalším významným hľadiskom je bezpochyby hľadisko energetického využitia, kedy biomasu delíme na:

- **biomasu zámerne pestovanú k tomuto účelu, napr:**
 - cukrová repa, obilie, zemiaky, cukrová trstina, atď. (na výrobu etylalkoholu),
 - olejniny, najmä repka olejná (na výrobu surových olejov a metylesteru, výrobu bionafty),
 - energetické dreviny, napr. vrbky, topole, agáty a iné stromové a kerové dreviny.

- **biomasy odpadnú**

- drevo (palivové drevo) a drevný odpad z lesného hospodárstva (kôra, haluzovina, šišky, pne, atď.) a drevospracujúceho priemyslu (odrezky, piliny),
- rastlinné odpady z poľnohospodárskej prvovýroby a údržby krajiny (kukuričná a obilná slama, repková slama, ostatky po likvidácii krovín, seno, ostatky z viníc a sádov, atď.),
- odpady zo živočíšnej výroby (exkrementy z chovu hospodárskych zvierat, ostatky z krmív, atď.),
- komunálne organické odpady (kaly z odpadových vôd, organický podiel z tuhých komunálnych odpadov, atď.),
- organické odpady z potravinárskych výrob (odpady z mliekarní, mäsokombinátov, konzervární a liehovarov).

1.3 Prvkové zloženie biomasy

Rastlinná biomasa pozostáva v najväčšom množstve z uhlíka (C), vodíka (H) a kyslíka (O). Z energetického hľadiska sú významné uhlík a vodík, ktoré sú zdrojom tepelnej energie pochádzajúcej z ich oxidácie. V prípade uhlíka, sa pri oxidácii 1 kg čistého prvku uvoľní 33 800 kJ energie v podobe tepla a v prípade 1 kg vodíka má uvoľnená energia hodnotu 120 000 kJ. Kyslík pri chemických reakciách teplo neuvoľňuje, ale práve naopak teplo spotrebúva. [6]

Okrem už spomínaných prvkov obsahuje biomasa taktiež tie, ktoré pri jej horení tvoria škodlivé zlúčeniny. K týmto patrí najmä fosfor (P), síra (S), chlór (Cl), dusík (N) .

Ostatné prvky sa v biomase vyskytujú len vo veľmi malom množstve ako tzv. stopové prvky. K týmto prvkom patrí olovo (Pb), sodík (Na), draslík (K), vápnik (Ca), kremík (Si), mangán (Mn), bór (B), meď (Cu), železo (Fe), nikel (Ni), horčík (Mg), zinok (Zn), atď.. Tieto nepriamo ovplyvňujú spaľovací proces najmä tým, že tvoria nánosy na spaľovacích zariadeniach a sú pôvodcami vzniku ďalších škodlivých látok a popola. [1]

Je treba spomenúť, že zloženie biomasy sa líši v koncentrácii jednotlivých prvkov v závislosti na druhu biomasy, či pôdy a jej obsahového zloženia, v ktorej bola daná biomasa dopestovaná.

1.3.1 Škodlivé účinky prvkov biomasy

Prvkové zloženie jednotlivých druhov biomasy, je podrobované precíznemu skúmaniu, zameranému najmä na prvky so škodlivým účinkom. V strede záujmu

tohto skúmania sa nachádza chlór a siera, ako hlavní pôvodcovia poškodenia vnútorných častí spaľovacích zariadení a producenti škodlivých emisií.

Chlór pri spaľovaní vytvára v reakcii s vodíkom plyný chlorovodík (HCl), o ktorom sa predpokladá, že spôsobuje koróziu vnútorných častí kotlov. Tento predpoklad však popierajú doposiaľ nadobudnuté skúsenosti pri spaľovaní biomasy s vyšším obsahom chlóru (napr. jačmennej slamy), kedy sa nezistili výrazné degradačné zmeny vnútorných častí spaľovacieho zariadenia v dôsledku korózie. Z hľadiska ekológie a zdravia má chlór obsiahnutý v biomase taktiež negatívny vplyv, a to z toho dôvodu, že pri spaľovaní biomasy s obsahom chlóru, vznikajú toxické dioxíny (látky vznikajúce pri spaľovaní chlórovaných organických materiálov).

Síra podobne ako chlór pri spaľovacom procese tvorí zlúčeniny, najmä oxid siričitý (SO₂), z ktorého v procese kondenzácie vzniká kyselina sírová (H₂SO₄). Tá pôsobí na vnútorné časti spaľovacieho zariadenia koróznym účinkom. Rovnako i pri anaeróbnej fermentácii, kedy sa počas tohto procesu z biomasy uvoľňuje síra v podobe sírovodíku (H₂S) a pôsobí korózne na vnútorné časti bioplynovej stanice. Na životné prostredie zase negatívne vplyva, ak sa síra v podobe emisií dostane do ovzdušia. Tu sa SO₂ rozpúšťa vo vzdušnej vlhkosti za vzniku kyseliny sírovej (H₂SO₄), čo spôsobuje tzv. kyslé dažde a devastáciu lesov. [10]

Aj keď je pravda, že biomasa obsahuje isté percento týchto škodlivých prvkov, avšak v porovnaní so v súčasnosti využívanými fosílnymi palivami, je táto hodnota niekoľkonásobne nižšia, najmä čo sa obsahu síry týka. V prípade obsahu chlóru sú fosílna palivá a palivá z biomasy na približne rovnakej úrovni.

V nasledujúcej tabuľke je uvedené prvkové zloženie vybraných druhov biomasy, vid'. *Tabuľka 1.*

Druh biomasy	prvkové zloženie biomasy [%]					
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	Cl
Smrekové drevo s kôrou	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Bukové drevo s kôrou	47,9	6,2	45,2	0,22	0,015	0,006
Topoľové drevo (krátke výhonky)	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Vŕbové drevo (krátke výhonky)	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004
Kôra z ihličnatého dreva	51,4	5,7	38,7	0,48	0,085	0,019
Žitná slama	46,6	6	42,1	0,55	0,085	0,4
Pšeničná slama	45,6	5,8	42,4	0,48	0,082	0,19
Jačmenná slama	47,5	5,8	41,4	0,46	0,089	0,4
Repková slama	47,1	5,9	40	0,84	0,27	0,47
Repkové semeno	60,5	7,2	23,8	3,94	0,1	0
Poľnohospodárske seno	45,5	6,1	41,5	1,14	0,16	0,22
Pasienková tráva	46,1	5,6	38,1	1,34	0,14	1,39

Tabuľka 1: Prvkové zloženie vybraných druhov biomasy [1]

Pre porovnanie uvádzame taktiež prvkové zloženie fosílnych palív, vid'. *Tabuľka 2*.

Druh uhlia	prvkové zloženie uhlia [%]					
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	Cl
Čierne uhlie	72,5	5,6	11,1	1,3	0,94	< 0,1
Hnedé uhlie	65,9	4,9	23	0,7	0,39	< 0,1

Tabuľka 2: Prvkové zloženie fosílnych palív [1]

1.4 Energetické vlastnosti biomasy

Energetické vlastnosti biomasy sú rozhodujúcim parametrom, ktorý hovorí o ich vhodnosti ako paliva pre energetické využitie. Taktiež na základe znalosti vlastností biomasy sa navrhujú spaľovacie zariadenia a procesy. Je preto nevyhnutné poznať ich význam a schopnosť dané procesy ovplyvňovať. Medzi najdôležitejšie energetické vlastnosti patrí:

- **vlhkosť biomasy,**
- **výhrevnosť a spalné teplo,**
- **obsah popola,**
- **zloženie horľaviny paliva,**
- **objemová merná hmotnosť (hustota),**
- **sypná hmotnosť.**

1.4.1 Vlhkosť biomasy

Pre biomasu je vlhkosť typickou vlastnosťou, o ktorej je vhodné hovoriť najmä v súvislosti s tuhými biopalivami. Je známe, že oproti iným palivám obsahuje najväčší podiel vody, ktorý sa v závislosti na druhu biomasy líši. Vlhkosť výrazne ovplyvňuje spaľovací proces, a to väčšinou negatívne. Znižuje výhrevnosť palív, keďže časť energie sa spotrebuje na odparenie vody obsiahnutej v palive. Ďalej znižuje účinnosť spaľovacieho procesu, pretože pri vyparovaní znižuje pracovnú teplotu procesu a nastáva režim nedokonalého spaľovania, čo má za následok vznik väčšieho množstva nespáleného zvyšku v popole a prostredníctvom spalín uvoľňovanie nebezpečných zlúčenín, najmä oxidu uhoľnatého (CO) a niektorých uhľovodíkových derivátov.

Vlhkosť biomasy sa meria v dvoch formách, ako *relatívna rovnovážna vlhkosť* a *absolútna vlhkosť*. Relatívna rovnovážna vlhkosť je vlhkosť látky v rovnovážnom stave s vlhkosťou prostredia, kedy už žiadnu ďalšiu vlhkosť neprijíma, ani nevydáva. Absolútna vlhkosť materiálu udáva percentuálny podiel vody na celkovom jednotkovom objeme paliva alebo sa vzťahuje na objem sušiny. [12] Obsah vody v biomase sa v energetike stanovuje podľa vzťahu pre absolútnu vlhkosť: [6]

$$W = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

H_1 je hmotnosť vzorky surovej drevnej hmoty [kg],

H_2 hmotnosť vzorky po vysušení [kg].

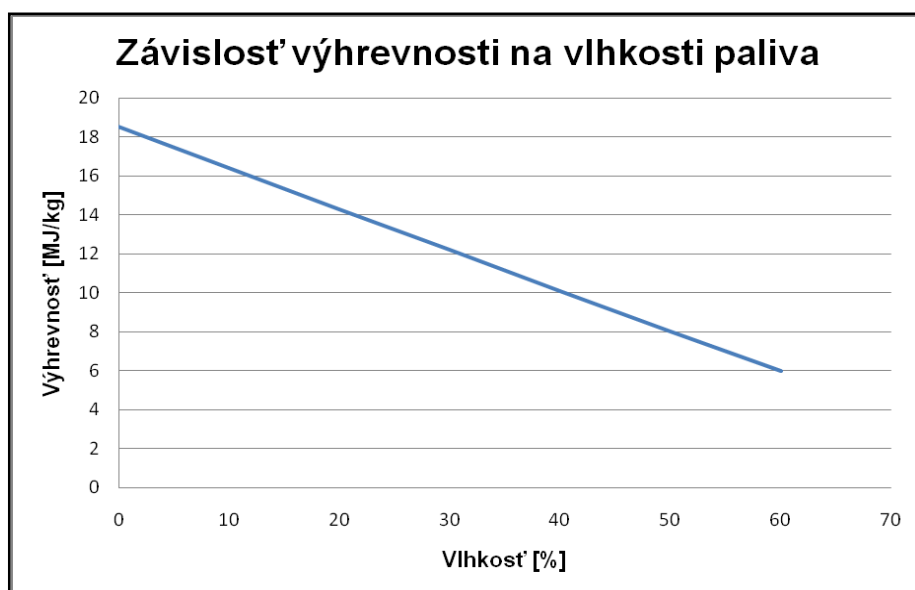
pozn.: Niekedy sa však môžeme stretnúť i s vlhkosťou udanou podľa štandardov v drevospracujúcom priemysle, keďže práve ten je najväčší spotrebiteľ a dodávateľ najvýznamnejšej formy biomasy, a to biomasy drevnej. Je teda treba dbať na to, aby sme vedeli, s akou hodnotou vlhkosti paliva pracujeme.

Ako už bolo spomenuté, obsah vody v biomase sa v závislosti na jej druhu líši. Nasledujúca tabuľka udáva prehľad hodnôt vlhkosti vybraných druhov biomasy. Jedná sa o priemerné hodnoty zostavené z viacerých literárnych zdrojov, *viď. Tabuľka 3.*

Druh biomasy	vlhkosť [%]
obilná slama	<12 ; 25>
repková slama	<17 ; 18>
seno (všeobecne)	<15 ; 25>
drevo (všeobecne)	<10 ; 60>
rýchlorastúce dreviny	<25 ; 30>
energetické rastliny	18
slonia tráva	40

Tabuľka 3: Vlhkosť vybraných druhov biomasy [2]

Najčastejšie sa negatívny vplyv vlhkosti biomasy spája so znižovaním výhrevnosti. Preto je vhodné uviesť závislosť, ktorá charakterizuje vzťah medzi týmito dvoma vlastnosťami,



Graf 1: Závislosť výhrevnosti na vlhkosti paliva z drevnej hmoty [6]

Z grafu je zrejmé, že so zvyšujúcim sa podielom vody v palive, jeho výhrevnosť klesá, a to približne lineárne. Tento negatívny vplyv je možno potlačiť dvomi spôsobmi: [2]

- Dostatočným sušením, aby mala spaľovaná biomasa čo najnižšiu vlhkosť, a tým sa zabránilo nepriaznivým vplyvom pri spaľovacom procese. Sušenie je možné vykonávať použitím vysúšacích zariadení, čím sa však zvyšujú náklady na využívanie biomasy. Preto sa väčšinou využíva prirodzená forma sušenia, a to voľné sušenie na vzduchu. Dĺžka trvania sušiaceho procesu je vyššia, avšak okrem zabezpečenia vhodných skladovacích priestorov, ktoré sú obvyčajne k dispozícii, je táto metóda takpovediac bezplatná,
- Efektívnym využívaním energie spotrebovanej na odparenie vlhkosti. Spôsob je ten, že sa vodná para v spalínach privedie na výmenník tepla, kde kondenzuje a odovzdáva teplo, nadobudnuté pri spaľovacom procese, vykurovaciemu okruhu.

Optimálne riešenie sa naskytá v podobe kombinácie práve týchto dvoch spôsobov, ktorými sa zabezpečí zníženie negatívneho vplyvu vlhkosti na výhrevnosť biopalív.

1.4.2 Výhrevnosť a spalné teplo

Výhrevnosť a spalné teplo sú považované za najdôležitejšie energetické charakteristiky biopaliva a v podstate popisujú rovnakú vlastnosť. Zjednodušene povedané, udávajú množstvo energie, ktorú dostaneme pri spálení jednotkového množstva daného biopaliva. Je medzi nimi však jeden rozdiel, a preto si ich teraz charakterizujeme na odbornejšej úrovni.

Spalné teplo, označuje sa Q_n , jednotkou je $[MJ.kg^{-1}]$, udáva množstvo energie v podobe tepla, ktoré sa uvoľní pri dokonalom spálení 1 kg paliva, za vzniku zlúčenín oxidu uhličitého (CO_2), oxidu siričitého (SO_2) a vodnej pary (H_2O), s tým, že všetka vodná para, ktorá pri spaľovacom procese vznikla, následne skondenzuje na kvapalnú vodu.

Výhrevnosť, označuje sa Q_i , jednotkou je $[MJ.kg^{-1}]$, udáva množstvo energie v podobe tepla, ktoré sa uvoľní pri dokonalom spálení 1 kg paliva, za vzniku zlúčenín oxidu uhličitého (CO_2), oxidu siričitého (SO_2) a vodnej pary (H_2O). Tieto následne opúšťajú spaľovací proces v podobe spalín.

Z definícií je možno poznať rozdiel medzi oboma charakteristikami, ktorý spočíva v spôsobe, akým sa narába s vodnou parou vzniknutou počas spaľovacieho procesu. V prípade spálneho tepla sa uvažuje, že vodná para skondenzuje na výmenníku tepla na kvapalnú vodu, čím spätne odovzdá teplo, ktoré bolo použité na jej odparenie. Naopak v prípade výhrevnosti sa uvažuje, že vodná para nekondenzuje, ale odchádza so spalínami preč. Tento rozdiel predstavuje istú hodnotu energie, o ktorú sa tieto dva parametre líšia, ako je vidno z grafu, *vid'. Graf 2*.

Medzi oboma charakteristikami existuje prepočítaný vzťah, pomocou ktorého sa dá zo spálneho tepla určiť výhrevnosť daného paliva. Tento vzťah má nasledujúci tvar,

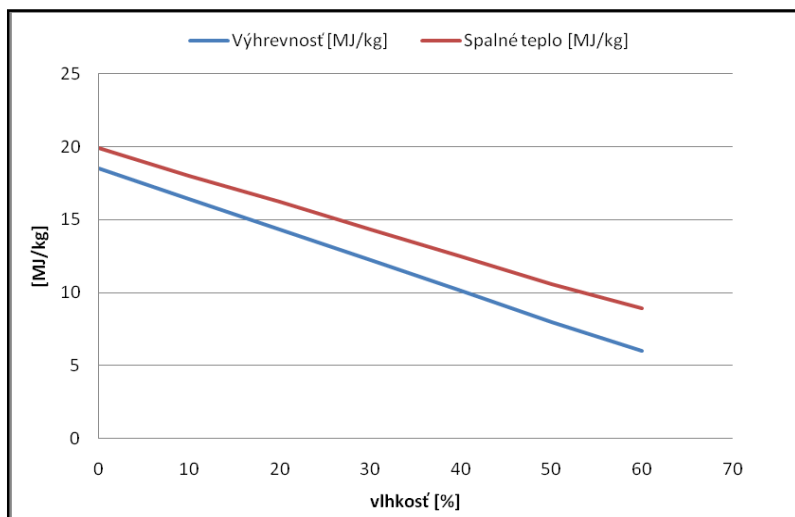
$$Q_i = Q_n - 2,453 \cdot (w + 8,49 \cdot H_2) \quad [MJ \cdot kg^{-1}]$$

Q_i je výhrevnosť [MJ.kg⁻¹],

Q_n je spalné teplo [MJ.kg⁻¹],

w je absolútna vlhkosť paliva podľa energetiky [kg.kg⁻¹],

H_2 je obsah vodíka v palive [kg.kg⁻¹].



Graf 2: Závislosť výhrevnosti resp. spálneho tepla na vlhkosti paliva [1]

Je vhodné si uviesť obe charakteristiky taktiež v číselnej podobe, ktorá dáva lepšiu predstavu, o aký rozdiel sa jedná. V nasledujúcej tabuľke sú zobrazené hodnoty výhrevnosti a spálneho tepla vybraných druhov biomasy v suchom stave, t.j. v stave s nulovou hodnotou vlhkosti, vid'. Tabuľka 4.

Druh biomasy	Výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹]	Spálne teplo [MJ.kg ⁻¹]
Smrekové drevo s kôrou	18,8	20,2
Bukové drevo s kôrou	18,4	19,7
Topoľové drevo (krátke výhonky)	18,5	19,8
Vŕbové drevo (krátke výhonky)	18,4	19,7
Kôra z ihličnatého dreva	19,3	20,4
Žitná slama	17,4	18,5
Pšeničná slama	17,2	18,5
Jačmenná slama	17,5	18,5
Repková slama	17,1	18,1
Repkové semeno	26,5	---
Polnohospodárske seno	17,4	18,9
Pasienková tráva	16,5	18

Tabuľka 4: Výhrevnosť a spálne teplo vybraných druhov biomasy v suchom stave [1]

Čo sa týka výhrevnosti, sú podľa *Tabuľky 4*, dané biopalivá konkurencieschopné i kvalitnému hnedému uhlíu, ktorého výhrevnosť sa pohybuje v rozmedzí 17,6 – 20 [MJ.kg⁻¹], podľa miesta ťažby. Avšak jedná sa o hodnoty výhrevnosti úplne suchej hmoty. V reálnych podmienkach však obsahuje biomasa vždy minimálne 10 % vlhkosti, u dreva a drevnej štiepky skladovaných pod strechou, sa hodnota vlhkosti pohybuje okolo 30 %, u balíkov slamy je to 14 – 16 % [2]. Práve vlhkosť má negatívny vplyv na výhrevnosť biopalív. Existujú preto dva základné spôsoby, ako tento negatívny vplyv znížiť, ktoré sú bližšie špecifikované v predchádzajúcej podkapitole 1.4.1.

1.4.3 Obsah popola

Popol je jednou z troch základných zložiek paliva. Ako popol sa označuje pevný nespálený zvyšok paliva, ktorý vzniká v procese spaľovania. Vzniká pri reakcii minerálnych látok s kyslíkom a je tvorený zväčša oxidmi prvkov týchto minerálnych látok, ktoré sú v biomase obsiahnuté (K₂O, Na₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅). Vo všeobecnosti je u palív z biomasy množstvo popola oveľa nižšie, než u ostatných druhov palív, čo je zárukou menšieho obsahu tuhých častíc v spalinách. Obsah popola v biopalivách je daný vlastnou chemickou štruktúrou jednotlivých druhov biomasy a taktiež kontamináciou pôdy, z ktorej biomasa čerpala živiny pri svojom raste, popolovými prvkami. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené hodnoty obsahu popola, pre vybrané druhy biomasy, *vid'. Tabuľka 5*

Druh biomasy	Obsah popola [kg.kg ⁻¹]
Smrekové drevo s kôrou	0,6
Bukové drevo s kôrou	0,5
Topoľové drevo (krátke výhonky)	1,8
Vŕbové drevo (krátke výhonky)	2,0
Kôra z ihličnatého dreva	3,8
Žitná slama	4,8
Pšeničná slama	5,7
Jačmenná slama	4,8
Repková slama	6,2
Repkové semeno	---
Poľnohospodárske seno	5,7
Pasienková slama	8,8

Tabuľka 5: Obsah popola vybraných druhov biomasy [1]

Zvýšený obsah popola v biopalivách má opäť negatívny vplyv na ich výhrevnosť, keďže tvorí len nespáliteľný zvyšok bez energetického úžitku. Navyše je s popolom spojený i ďalší problém, ktorý ovplyvňuje spaľovací proces, a tým je jeho spekanie (*sintrácia*) v priestoroch spaľovacieho zariadenia za vyšších teplôt. Princíp spekania spočíva v prekročení istej teploty, tzv. teploty tečenia popola, kedy sa popol rozteká po spaľovacom priestore a po následnom vychladnutí taveniny, táto stuhne na

tvorovo rôznorodé hrudy. V podobe hrúd, je popol problémom, keďže môže poškodiť vnútorné časti spaľovacieho zariadenia. Problém rovnako vzniká i pri odstraňovaní zapečeného popola napr. z roštov, ktoré sa môžu zapchávať a obmedzovať tak funkčnosť zariadenia. Boli uskutočnené skúšky spekania popola u špecifických skúšobných telies, vytvorených s popola rôznych druhov biomasy, ktorých priebeh bližšie popisuje norma [7]. Celý proces spekania popola je charakterizovaný teplotami tavenia, ktoré po sebe nasledujú v tomto poradí:



- **teplota deformácie** (označenie: DT – deformation temperature), je teplota, kedy sa začínajú zaobľovať hrany skúšobného telesa z dôvodu tavenia,
- **teplota mäknutia** (označenie: ST – sphere temperature), hrany skúšobného telesa sú upne zaoblené,
- **teplota tavenia** (označenie: HT – hemisphere temperature), skúšobné teleso má približne tvar pologule,
- **teplota tečenia** (označenie: FT – flow temperature), pri tejto teplote sa popol rozteká po podložke vo vrstve, ktorej výška je tretina pôvodnej výšky skúšobného telesa. [7]

Je dôležité poznať najmä hodnoty posledných dvoch teplôt, aby sa vhodnou reguláciou spaľovacieho procesu dalo nepríjemnému spekaniu zabrániť. Podľa výšky teploty tečenia popola, rozlišujeme tri typy popolov: [1]

ľahko taviteľné popoly

- s teplotou tavenia 850 až 1200 °C,

stredne taviteľné popoly

- s teplotou tavenia 1200 až 1450 °C,

ťažko taviteľné popoly

- s teplotou tavenia nad 1450 °C.

Popoly z biopalív radíme medzi ľahko tavitelné (popol z nedrevnej hmoty) až stredne tavitelné (popol z drevnej hmoty). To iba potvrdzuje fakt, že u spaľovania palív z biomasy, je regulácia teploty procesu potrebná, aby sa predišlo nechcenému spekaniu ich popolov, a tým i ťažkostiam s ním spojenými.

1.4.4 Zloženie horľaviny paliva

V predchádzajúcich podkapitolách sme si priblížili dve z troch zložiek palív, a to vodu v podobe vlhkosti a popol, ktoré tvoria v palive tzv. *balast*, teda nepotrebnú časť paliva. Naopak významnou zložkou, ktorá je podstatou palív, je horľavina. Horľavina je tá časť paliva, ktorá v procese horenia uvoľňuje viazanú energiu chemických väzieb. Obsahuje dva druhy látok, a to tzv. *aktívne látky* (uhlík C, vodík H₂, síra S) a tzv. *pasívne látky* (kyslík O₂, dusík N₂). Ako už z názvov vyplýva, aktívne látky budú tvoriť tú časť horľaviny, ktorá práve spomínanú energiu v procese horenia uvoľňuje v podobe tepla a pasívne látky tvoria tú časť, ktorá teplo neuvoľňuje. Prvkové zloženie vybraných druhov biomasy už bolo zobrazené v Tabuľke 1, v podkapitole 1.3.1, preto ho znovu neuvádzame. [7]

1.4.5 Objemová hmotnosť paliva (hustota)

Hustota paliva ρ [kg.m⁻³], je charakterizovaná, ako hmotnosť jednotkového objemu paliva. Hustota je vždy ovplyvňovaná vlhkosťou, kedy má 1 m³ suchého paliva väčšiu hustotu a získame z neho viac energie, než z 1 m³ rovnakého paliva, ale s 50 % vlhkosťou. Poznať hustotu biopalív je dôležité z hľadiska prepravy a taktiež i pri navrhovaní veľkosti komôr spaľovacích zariadení. Z toho vyplýva, že nie je možné spaľovať jeden druh biomasy v zariadení navrhnutom pre iný druh biomasy, prípadne paliva. [2]

1.4.6 Sypná hmotnosť paliva

Sypná hmotnosť ρ_s [kg.m⁻³], Udáva hmotnosť voľne sypanej biomasy, ktorá zaujme daný normovaný objem. Závisí na sypanom materiály, druhu biomasy, vlhkosti biomasy, zrnitosti, spôsobe sypania, atď.. Jedná sa o charakteristiku, ktorá podobne ako hustota, je významná pri preprave materiálu. Navyše je sypná hmotnosť z energetického hľadiska smerodatnejšia, keďže na základe nej sme schopní určiť aké množstvo paliva je možné pridávať do rozmerovo obmedzeného spaľovacieho priestoru. Toto množstvo je rovnako závislé i od spôsobu pridávania paliva. Najčastejšie sa palivo pridáva voľným sypaním. [1]

1.5 Charakteristika palív z biomasy

Pojmom palivo je označovaná látka, ktorá je schopná po zapálení v nato určených zariadeniach kontinuálne horieť a pritom uvoľňovať energiu v podobe tepla. Palivá sa získavajú v troch skupenstvách, a to ako: [5]

- **tuhé biopalivá,**
- **kvapalné biopalivá,**
- **plynné biopalivá.**

Pri zameraní sa na biopalivá je dôležité spomenúť, že jediným druhom biopalív, ktorý je možné využiť pre energetické účely priamo, teda bez významných predchádzajúcich technologických premien a úprav, sú tuhé biopalivá (drevo, drevná štiepka, pelety, brikety). Ostatné dva druhy, teda kvapalné biopalivá (bioetanol, bionafta,...) a plynne palivá (drevoplyn, bioplyn), sa stávajú biopalivami, až po určitých technologických procesoch, pri ktorých sa dovtedy nespáliteľné formy biomasy (kejsa, odpady z ČOV), stávajú plnohodnotným zdrojom energie.

Tuhé biopalivá

Medzi tuhé biopalivá radíme tie, ktoré sú určené na priame spaľovanie. To znamená, že nemusia prechádzať žiadnymi technologickými procesmi, aby sa stali plnohodnotným biopalivom. Takýmto palivom sú drevné a nedrevné formy biomasy, ktoré je možné energeticky využívať priamo alebo v mierne upravenej forme, tzv. zušľachtenej forme, čo označuje pelety, brikety, prípadne balíky.

Kvapalné biopalivá

Ako už bolo spomenuté, jedná sa o biopalivá, z ktorých sme schopní získavať energiu až po tom, čo sa z daných druhov biomasy v zložitých technologických procesoch stane plnohodnotné palivo. Najvýznamnejšími procesmi, pri ktorých vznikajú kvapalné biopaliva, sú rýchla pyrolýza, lisovanie semien rastlín, pri ktorých vzniká bioolej a alkoholová fermentácia, pri ktorom sa získava bioetanol. Samotný bioolej je možné ďalej spracúvať a v procese esterifikácie z neho získame bionaftu, ktorá sa svojimi vlastnosťami podobá klasickej naфте, a teda sa môže použiť ako alternatívne motorové palivo.

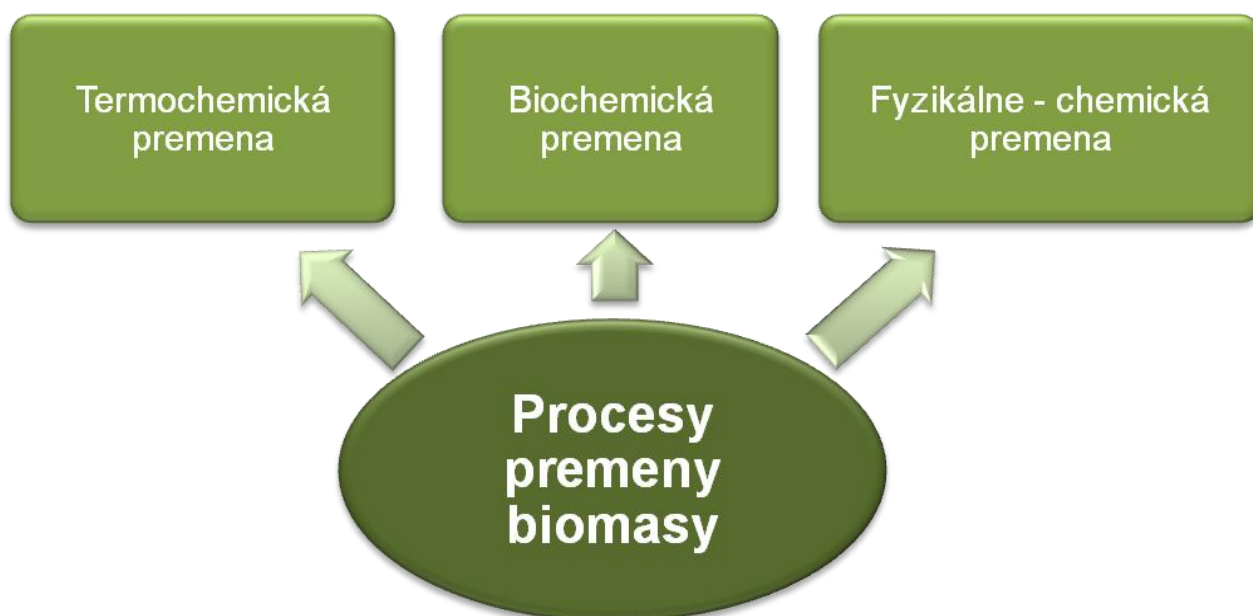
Plynné biopalivá

Podobne ako kvapalné biopalivá, i biopalivá plynne vznikajú až po prebehnutí istých technologických procesov, pri ktorých z odpadnej biomasy získavame energeticky využiteľné palivo. Najčastejšie sa na výrobu plyných biopalív využíva anaeróbna fermentácia, čo je biochemická premena biomasy alebo splyňovanie biomasy, ktoré patrí medzi termochemické premeny. Biopalivá vznikajúce pri týchto druhoch procesov sú bioplyn a generátorový plyn, ktorých základnou energetickú zložkou tvorí plyný metán (CH_4) resp. oxid uhoľnatý (CO) a vodík (H_2). Často sa využívajú na spojenú výrobu elektrickej energie a tepla v zariadeniach zvaných kogeneračné jednotky.

1.6 Spôsoby využívania biomasy na energetické účely

V súčasnosti sa využíva viacero technologických procesov, ktorými sme schopní biomasu premieňať na produkty vhodné pre energetické využitie. Každý z procesov je špecifický svojím výstupným produktom a taktiež vstupnou formou premieňanej biomasy, pretože jednotlivé procesy sú aplikovateľné iba u niektorých druhov biomasy, a to z dôvodu nerentabilnosti alebo úplnej nevhodnosti. Rozlišujeme tri základné typy premeny biomasy na produkty vhodné pre energetické využitie: [6]

- **Termochemická premena biomasy**
- **Biochemická premena biomasy**
- **Fyzikálne - chemická premena biomasy**



1.6.1 Termochemická premena biomasy

Termochemická premena biomasy je doposiaľ najpoužívanější technológia využívania biomasy na energetické účely. Jedná sa o suchý proces, čo znamená, že sa požaduje biomasa s vyšším obsahom suchej hmoty (sušiny). Naopak vyšší obsah vlhkosti má na daný proces nepriaznivý vplyv. Podstatou termochemickej premeny, je tepelný rozklad vstupnej látky, ktorá pri tomto procese podlieha tzv. *suchej destilácii*, čo je v podstate rozklad zložitejších látok na jednoduchšie pôsobením vysokej teploty pri čiastočne alebo úplne obmedzenom prístupe vzduchu. Vznikajú viaceré výstupné produkty, ktorými sú: [13]

- **pevný zvyšok,**
- **kvapalná frakcia,**
- **dechtová frakcia,**
- **plynná frakcia.**

O termochemickej premene môžeme hovoriť v súvislosti s tromi najzákladnejšími procesmi, pri ktorých sa daná technológia uplatňuje. Môže sa zdať, že dané procesy sú si v princípe veľmi podobné, čo je pravda, avšak rozdiel je v tom, pri akých podmienkach prebiehajú a aké výstupné produkty z nich získavame. Podľa toho sa delia na: [3]

- **spaľovanie**, výstupom je teplo viazané na teplovodné médium (voda, vodná para, olej),
- **splyňovanie**, podstatou je výroba generátorového plynu,
- **pyrolýza**, podstatou je výroba pyrolýzneho oleja.

1.6.1.1 Spaľovanie

Priame spaľovanie biomasy patrí medzi najstaršie typy premeny biomasy vôbec. V súčasnosti je aj najrozšírenejším typom premeny, práve vďaka hlbokým poznatkom nadobudnutým počas jeho využívania a svojej pomernej jednoduchosti a dostupnosti. Podstatou spaľovania je vznik tepelnej energie, ktorú človek ďalej využíva na vykurovanie rodinných domov, či iných druhov objektov alebo inú úžitkovú činnosť.

Palivo

Ako palivo pre priame spaľovanie biomasy sa využíva buď biomasa v neupravenom stave, teda v podobe kusového dreva alebo biomasa v upravenom, tzv. zušľachtenom stave, ako drevná štiepka, pelety, brikety, slama. Pod pojmom zušľachťovanie sa v tomto prípade myslí zmenšenie objemu zväčša odpadnej biomasy, a to najmä lisovaním. Je výhodným spôsobom narábania s odpadmi z lesnej ťažby dreva a drevospracujúceho priemyslu, čím sa zvýši hospodárnosť využívania vyťaženeho dreva v prospech energetiky.

Teraz si popíšeme jednotlivé druhy biomasy, vhodné pre priame spaľovanie:

Kusové drevo – predstavuje základnú formu drevnej hmoty, ktorá si priamo po ťažbe nevyžaduje výraznejšie úpravy. Je dôležité sústrediť sa na vlhkosť spaľovaného dreva, pretože ako už bolo spomenuté v kapitole venovanej vlastnostiam biopalív, tá úzko súvisí s výhrevnosťou. Pri správnom spaľovaní a nízkom obsahu vody drevo veľmi dobre horí, obsah popola vtedy tvorí iba 1% pôvodnej hmotnosti, nevznikajú pri jeho spaľovaní sadze, čím sa predchádza zanášaniam dymového potrubia a znižovaniu životnosti spaľovacieho zariadenia. Nízkemu obsahu vody v dreve odpovedá približne 15 - 20 % vlhkosť a bežne sa táto hodnota pohybuje okolo 25%. V závislosti na bežnej vlhkosti dreva je výhrevnosť

približne 14 MJ/kg. Samozrejme sú tieto hodnoty závislé na druhu spaľovaného dreva. [5] Preto je potrebné pred spaľovaním dreva dbať na jeho kvalitné vysušenie. Ako najlepší spôsob sušenia je považované prirodzené sušenie na vzduchu, ktoré by malo v klimatických podmienkach ČR a SR trvať 2 až 2,5 roka v porezanom a naštiepanom stave. [5]

Drevná štiepka – jedná sa o rôznorodú surovinu, ktorá je tvorená drevom, kôrou, ihličím, zelenými listami, vetvičkami a nedrevenou prímiesou. Vyrába sa z odpadov lesného hospodárstva, z odpadov drevospracujúceho priemyslu. Tvarovo je štiepka tvorená elementmi s dĺžkou v rozmedzí od 5 do 50 mm, šírkou od 5 do 30 mm a hrúbkou od 5 do 15 mm. Štiepka sa podľa obsahu drevnej hmoty delí na nasledovné druhy: [14]

- **zelená štiepka (lesná)** – obsahuje drevnú hmotu a taktiež kôru a stromovú zeleň,
- **hnedá štiepka** – obsahuje len drevo a kôru stromov,
- **biela štiepka** – obsahuje len drevo bez kôry.

Z energetického hľadiska nás zaujíma najmä výhrevnosť danej štiepky. Tá závisí nielen na druhu, ale hlavne na vlhkosti. Za optimálnu vlhkosť štiepky pri spaľovaní sa považuje 30 - 35 %. Štiepka s nižšou vlhkosťou má pri horení explozívny charakter a veľká časť energie môže prostredníctvom horúcich dymových plynov uniknúť bez využitia do atmosféry. Taktiež ani štiepka s vyšším podielom vody, v rozmedzí 50 - 60 % nie je vhodná, pretože výrazne znižuje účinnosť spaľovacieho procesu a pri vlhkosti 60 - 70 % je dokonca výhrevnosť štiepky taká nízka, že spaľovací proces sa stáva neudržateľným a oheň zhasne. Výhrevnosť štiepky pri vlhkosti 30 % je približne 12,8 MJ/kg.

Oproti drevu v klasickom stave má tú výhodu, že rýchlejšie schne a je vhodná pre automatickú prevádzku. Naopak za nevýhodu môžeme považovať jej krátkodobú skladovateľnosť, pretože štiepka podlieha chemickým procesom a činnosti húb a plesní, ktoré zvyšujú vlhkosť skladovanej štiepky, a tým ju znehodnocujú pre energetické využitie. Odporúčaná doba spotreby vyrobenej štiepky sa pohybuje v rozmedzí 15 dní a za najdlhšiu možnú dobu spotreby sa uvádzajú 3 mesiace.

Drevné štiepky sú vhodné pre spaľovanie v kotloch s vyššími výkonmi, ktoré sa používajú najmä v kotolniciach väčších objektov alebo v centrálnych zdrojoch tepla (CZT). [1]



Obrázok 1: Drevná štiepka

Pelety – patria medzi relatívne novú formu palív z biomasy. Tvarovo sú to elementy granulovitého typu, kruhového prierezu s priemerom 6 - 8 mm a dĺžkou 10 - 30 mm. Pelety sa vyrábajú lisovaním za veľkých tlakov až niekoľko desiatok megapascalov (MPa) a teploty, pri ktorej jedna so zložiek biomasy – *lignín* plastizuje a tvorí tak kvalitné spojivo. Tento proces dodáva peletám stály tvar a hustotu v priemere 1180 kg/m³. [5] Navyše ešte *lignín* zabraňuje peletám v dodatočnom prijímaní vlhkosti, čo zabezpečuje bezproblémové skladovanie. Materiál na výrobu peliet tvorí výhradne odpadný materiál, akým sú piliny, hobliny alebo slama a i.. Pelety sa rozdeľujú podľa odpadnej hmoty, z ktorej vznikli, na nasledovné druhy: [9]

- **drevné pelety** - vyrábajú sa zlisovaním pilín, kôry, drevnej štiepky v prevedeniach:
 - **biele** - vyrábané z čistej drevenej hmoty, najmä pilín,
 - **tmavé** - vyrábané z pilín zmiešanými s kôrou.
- **alternatívne pelety** . vyrábajú sa lisovaním rastlinnej biomasy v prevedeniach:
 - **agropelety** - vyrábané z poľnohospodárskych komodít a rastlinných odpadov, ako sú energetické rastliny, slama, atď.,
 - **ostatné** - vyrábané zo zmesí rastlinnej biomasy a napríklad papiera alebo kalov ČOV.

Medzi výhody peliet patrí najmä ich veľmi nízka vlhkosť, ktorá sa pohybuje na úrovni 8 - 10 % a spolu s vysokou hustotou dosiahnutou lisovaním z nich robí z hľadiska energetickej výdatnosti významného konkurenta pevným fosílnym palivám. Výhrevnosť peliet so spomínanou vlhkosťou sa pohybuje v rozmedzí od 17 až do 20 MJ/kg. [1] Takisto vďaka svojmu charakteru sú vhodné na poloautomatickú alebo plne automatickú prevádzku spaľovacích zariadení. Naopak nevýhodou zostávajú vyššie výrobné náklady z dôvodu energetickej náročnosti výroby.



Obrázok 2: Drevné pelety

Brikety - sú svojimi energetickými vlastnosťami, spôsobom výroby a druhom použitej biomasy na výrobu veľmi podobné peletám. Rovnako ako pelety sa vyrábajú lisovaním za vysokých tlakov a za zvýšenej teploty, ktorá zaručuje vznik plastického pojiva z lignínu a ich relatívnu pevnosť. Hustota vylisovaných brikiet sa pohybuje okolo hodnoty 1200 kg/m^3 a výhrevnosť dosahuje hodnotu až 19 MJ/kg . Hlavný rozdiel medzi peletami a briketami je v ich tvare a rozmeroch. Na rozdiel od peliet, ktoré sú relatívne malé elementy valcového tvaru, brikety sa vyrábajú buď ako valce o priemere 80 - 90 mm alebo ako hranoly s rozmermi 150 x 70 x 60 mm. [5]

Čo sa týka dostupnosti tuhých biopalív, ako v ČR, tak aj v SR sú firmy, ktoré sa špecializujú na výrobu tuhých biopalív. Navyše v súčasnosti existujú firmy, ktoré sa zaoberajú nielen výrobou a skladovaním, ale rovnako i pravidelným rozvozom priamo k zákazníkovi, čo výrazne zvyšuje komfort používania týchto palív.

Proces a princípy spaľovania

Proces spaľovania biomasy, je reakcia exotermická. Podstatou je spaľovanie horľavých zložiek paliva a následné uvoľňovanie tepla. Toto teplo je prostredníctvom spalín privádzané na výmenníky tepla a odovzdávané teplotonosnému médiu. Ako teplotonosné médium sa najčastejšie využíva voda, vodná para, vzduch prípadne olej. Spaľovanie má však viacero fáz, ktoré sú vlastné pre všetky typy termochemických premien. V počiatočnej fáze pôsobením tepla dochádza k uvoľňovaniu vlhkosti v podobe vodnej pary, nazývame ju *fáza sušenia*. Nasleduje fáza, pri ktorej sa za zvýšenej teploty uvoľňuje prchavá plynná zložka paliva, nazývame ju *fáza pyrolýzy*. Ak sa v ďalšom priebehu dosiahne požadovaná teplota na vznietenie horľaviny a bude zabezpečený dostatočný prísun vzduchu, zaháji sa *fáza oxidácie*, teda spaľovanie uvoľnenej plynnej zložky horľaviny a zvyšku pevného uhlíku v palive. Konečným výstupom z procesu spaľovania je vzniknutá tepelná energia a odpad. [3]

Rovnako ako iné technológie i proces spaľovania prešiel a prechádza vývojom, ktorý so sebou prináša nové možnosti a hlavne princípy, na základe ktorých sme jednak schopní efektívnejšie riadiť samotný priebeh spaľovania a ktoré

sú taktiež použité pri návrhu spaľovacích zariadení. Medzi používané princípy spaľovania patrí: [3]

- **spaľovanie na rošte** - patrí medzi najstaršie riešenia. Základom je rošt, ktorého hlavnou funkciou je prevzdušňovať celý priestor nad ním a zabezpečovať tým optimálny prebytok vzduchu, taktiež udržiavať palivo v ohnisku pokým neprebehne jeho spálenie, ďalej zhromažďovať, prípadne odvádzať tuhý nespálený zvyšok z ohniska a umožniť zmenu výkonu spaľovacieho zariadenia. V dnešných roštových spaľovacích zariadeniach sú používané viaceré konštrukčné prevedenia roštov. Ako *nepohyblivé rošty* sa využívajú u spaľovacích zariadení malých výkonov a ako *pohyblivé rošty* u zariadení s väčším výkonom. Pohyb roštu prináša so sebou viaceré výhody, ako je možnosť jeho chladenia, a tým predĺženia životnosti, či podporovanie lepšieho prehorenia paliva pomocou premiešania spaľovanej vrstvy na rošte,
- **spaľovanie so spodným prívodom paliva** - je v súčasných spaľovacích zariadeniach veľmi rozšírené. V tomto prípade je palivo privádzané, najčastejšie šnekovým dopravníkom na rošt zospodu pod už horiacu vrstvu. Aby bol možné privádzanému palivu dodať dostatočné teplo na prebehnutie spaľovacieho procesu, musí byť nad roštom umiestnené keramické reflexné teleso, ktoré odráža tepelné žiarenie späť do ohniska a vytvára tak vhodné podmienky pre spaľovanie. Spaľovací vzduch je k roštu privádzaný v rovnakom smere ako palivo, teda zospodu. Po vyhorení paliva je popol privádzaným palivom vytláčaný do okrajov roštu, kde prepadá do popolníkov,
- **spaľovanie vo fluidnej vrstve** - podstatou je fluidná vrstva tvorená inertným materiálom (materiál nereagujúci s okolitým prostredím). Jedná sa o vrstvu schopnú akumulovať veľké množstvo tepelnej energie, ktorá je využívaná na spaľovanie privádzaného paliva. Spaľovací vzduch je vháňaný zo spodnej časti spaľovacej vrstvy a vytvára jej fluidný stav, tzn. vrstva sa správa ako tekutina. Rýchlosť privádzaného vzduchu musí mať vyššiu hodnotu ako je rýchlosť fluidizácie, aby bol daný fluidný stav vytvoriteľný. Rýchlosťou privádzaného vzduchu ovládame výšku fluidnej vrstvy, a tým i výkon zariadenia. Výhodou tohto princípu spaľovania je možnosť použitia i paliva s vyššou mierou vlhkosti, keďže stabilitu procesu zabezpečuje naakumulovaná tepelná energia vrstvy. Navyše sa dosahuje účinnejšieho spaľovania, keďže palivo je vo fluidnej vrstve vystavené vysokej teplote po dlhšiu dobu, dochádza k jeho lepšiemu prehoreniu a tým znižovaniu množstva emisií.

Zariadenie

Za spaľovacie zariadenie (kotol) označujeme zariadenie, ktoré je schopné v procese horenia uvoľňovať energiu paliva v podobe tepla. Následne sme schopní toto teplo účelne využívať na vykurovanie obytných priestorov alebo ohrev úžitkovej vody. Základným rozdelením spaľovacích zariadení je rozdelenie na: [3]

- **lokálne zdroje tepla**
 - krby
 - kachle
- **spaľovacie zariadenia (kotly) na ústredné vykurovanie**
 - malých výkonov (20 - 60 kW)
 - stredných výkonov (100 kW - 5 MW)
 - veľkých výkonov (viac ako 5 MW)

Lokálne zdroje tepla sa spravidla využívajú na vykurovanie priestoru, v ktorom sa nachádzajú, pretože pre prenos tepla do okolitého prostredia využívajú tepelnú konvekciu (prenos tepla prúdením) a radiáciu (prenos tepla žiarením) a ako teplotnosné médium vzduch. V poslednej dobe sa pri umiestňovaní týchto zariadení nevyužívajú len ich úžitkové vlastnosti ako zdrojov tepla, ale taktiež sa využíva i ich dekoratívny charakter na vkusné dotváranie obytných priestorov. Lokálne zdroje tepla využívajú princíp spaľovania na rošte, preto sa ako palivo využívajú tuhé biopalivá (kusové drevo, brikety, pelety). Nevýhodou je nutnosť častejšej manipulácie s palivom a odpadom, čo má za následok zvýšenú prašnosť, avšak v súčasnosti už existujú krby či kamná s výrazne zautomatizovanou prevádzkou, ktorá sa týka najmä prívodu paliva. Naopak výhodou je ich relatívne lacná prevádzka, a preto sa často využívajú ako doplnkové zdroje tepla k ústrednému vykurovaniu, čím sa znižujú celkové náklady na vykurovanie.

Spaľovacie zariadenia na ústredné vykurovanie sú určené na rozvod tepla do všetkých priestorov daného objektu, ktorý sa uskutočňuje teplotnosným médium, najčastejšie vodou. Jedná sa o zariadenia využívajúce všetky dostupné princípy a riešenia spaľovacieho procesu, ktoré majú prispievať k zvyšovaniu efektívnosti týchto zariadení a komfortu ich používania. Preto je v súčasnosti okrem manuálneho prísunu paliva možné využívať i zariadenia s automatickou prevádzkou, kde je obslužný zásah nutný len občas, a to podľa veľkosti zásobníku paliva a popola. Pre zariadenia ústredného vykurovania sa využíva všetkých princípov spaľovania, ktoré boli uvedené vyššie, a to podľa ich výkonu. Pre zariadenia menších až stredných výkonov sa využíva spaľovanie so spodným prívodom paliva, či spaľovanie na rošte. U zariadení väčších výkonov je využívané spaľovanie vo fluidnej vrstve.

Dôležitým ukazovateľom pri určovaní v akej miere je dané spaľovacie zariadenie schopné premieňať viazanú energiu v palive na energiu tepelnú, a teda splňať svoj základný účel, je účinnosť zariadenia. Preto si teraz uvedieme jednu z metód stanovenia účinnosti, a to metódu priamu, ktorá vychádza zo znalosti príkonu, teda množstvo tepla ktoré sa v podobe paliva do zariadenia dodáva a výkonu, ktorý predstavuje množstvo tepla odovzdaného teplotnosnému médium. Vzťah na výpočet účinnosti má tvar:

$$\eta = \frac{\text{výkon}}{\text{príkon}} = \frac{P_v}{P_p} \quad [-]$$

Celý postup meraní a výpočtov pre stanovenie účinnosti priamou metódou je popísaný v norme, ktorej je potrebné sa pridržať. Zaručí sa tak porovnateľnosť jednotlivých výsledkov. [3]

Odpad

Odpadom zo spaľovania biomasy sú emisie spalín a popol. Emisie sú tvorené hlavne zlúčeninami CO_2 a H_2O , ktoré sú výsledkom dokonalého spaľovania a ďalšími látkami, ktoré sú už považované za znečisťujúce. V prvom rade je znečisťovanie spôsobené oxidom uhoľnatým (CO), ktorý je produktom nedokonalého spaľovania a oxidmi dusíka (NO_x), ktoré sú sprievodným produktom spaľovacieho procesu. Veľkou výhodou spaľovania biopalív je nízky obsah síry, a teda i emisií SO_2 . Všetko sú to pre organizmus škodlivé látky, preto je potrebné zabráňovať ich uvoľňovaniu do ovzdušia. Ďalším odpadným produktom je popol. Popol z biomasy je využiteľný ako hnojivo pre pôdu, keďže obsahuje veľa minerálnych látok, ktoré práve z pôdy pochádzajú, čím sa zabezpečí cirkulácia živín a zvýši sa kvalita pôdy.

Nevýhody

K nevýhodám pri priamom spaľovaní biomasy patrí hlavne možný vznik korózie na vnútorných častiach spaľovacích zariadení pôsobením niektorých látok a vlhkosti a nízka teplota tavenia popola. Oba nežiaduce vplyvy sú bližšie popísané v podkapitole venovanej vlastnostiam biopalív.

1.6.1.2 Splyňovanie

Splyňovanie je ďalším z rady termochemických premien biomasy. Na rozdiel od priameho spaľovania, sa jedná o technológiu, pri ktorej vznikajú energeticky využiteľné produkty, ako drevené uhlie alebo nízkovýhrevný generátorový plyn, ktorý je nutné, podľa typu spaľovacieho zariadenia, kde bude ďalej využívaná, pred využívaním podrobiť kvalitnej filtrácii, aby sa odstránili nežiaduce zložky v podobe dechtu, prípadne prachu. Splyňovanie je proces, pri ktorom sme schopní z biomasy s nízkou hodnotou, teda najmä z odpadov, vytvoriť energeticky významné produkty, ktoré sa v procese spaľovania stávajú zdrojmi veľkého množstva energie.

Palivo

Najčastejšie sa na splyňovanie používa palivové drevo, či odpadné drevo v podobe pilín alebo štiepky, ktoré boli bližšie popísané v podkapitole venovanej priamemu spaľovaniu. Často sa prevádza i kusové palivové drevo zámerne na štiepku, a to z dôvodu jej lepších vlastností pri splyňovacom procese. V niektorých prípadoch sa môže na splyňovanie využiť i slama. Možnosť využívania jednotlivých druhov biomasy v procese splyňovania, závisí i od typu splyňovacieho zariadenia.

Zariadenie

Splyňovanie biomasy prebieha v reaktoroch zariadení na to určených, ktoré sa nazývajú splyňovače. V súčasnej dobe existuje niekoľko druhov splyňovačov a ich delenie podlieha rôznym kritériám. Uvedieme si rozdelenie splyňovačov podľa kritéria, ktoré najviac ovplyvňuje proces splyňovania, a tým je rozdelenie podľa konštrukcie splyňovacieho reaktoru: [3]

- **s pevným lôžkom,**
 - **spoluprúdne,**
 - **protiprúdne,**
 - **s krížovým tokom,**
- **s fluidnou vrstvou,**
 - **so stacionárnou fluidnou vrstvou,**
 - **s cirkulujúcou fluidnou vrstvou,**

Proces splyňovania

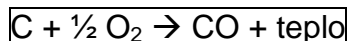
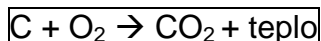
Proces splyňovania je technologicky veľmi náročný z dôvodu, že pozostáva z viacerých na seba nadväzujúcich krokov. Vo väčšine prípadov sa splyňuje za prístupu vzduchu a celý proces má nasledujúci priebeh: [6]



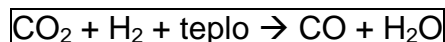
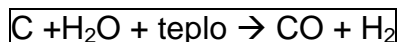
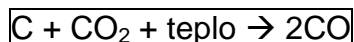
V počiatočnej fáze sušenia, ktorá prebieha do teploty okolo 200°C, sa jedná hlavne o uvoľňovanie vlhkosti v podobe vodnej pary. Táto fáza je silno endotermická a vyžaduje si kontinuálny prívod tepla. Zo zvyšujúcou sa teplotou od (200°C až 500°C) v splyňovacom zariadení proces pozvoľne prechádza do fázy pyrolýzy, u splyňovacieho procesu sa uplatňuje tzv. *rýchla pyrolýza*. Táto fáza prebieha bez prístupu vzduchu a pri vysokých rýchlostiach. Jej podstatou je štiepenie zložitých väzieb organických zlúčenín a vytváranie kvalitatívne nových produktov plynného (CO, CO₂, CH₄), kvapalného (decht) a tuhého skupenstva (uhlík C vo forme dreveného uhlia). Po skončení fázy pyrolýzy, splyňovací proces prechádza do fázy oxidácie, ktorá prebieha v podstate paralelne s redukčnou fázou. V oxidačnej fáze prebiehajú exotermické reakcie a teplo z nich je použité pri reakciách endotermických vo fáze redukčnej. Tieto dve posledné fáze v podstate tvoria vlastný proces splyňovania. K splyňovaniu biopaliva dochádza za pomoci splyňovacích médií kyslíka (O₂), oxidu uhličitého (CO₂), vodnej pary (H₂O), ktoré sú poväčšine obsiahnuté v privádzanom vzduchu. Splyňuje sa uhlík (C) viazaný na drevenom uhlí

vzniknutom v pyrolýznej fáze za vysokých teplôt. Prebiehajúce splyňovanie sa dá popísať niekoľkými splyňovacími rovnicami: [3]

exotermické reakcie



endotermické reakcie



Výsledkom je generátorový plyn zložený z oxidu uhoľnatého (CO), vodíku (H₂), metánu (CH₄) a ďalších zložiek, ako sú dechtové pary, prach a dusík. Veľkým problémom sú práve toxické dechtové pary obsiahnuté v plyne. Preto aby bol využiteľný ako bezproblémové palivo pre spaľovanie, je nutné ho čistiť pomocou vysokokvalitných filtrov. Ak by sme chceli vyrobiť kvalitnejší syntézny plyn (obsahuje len CO a H₂), je potreba splyňovať za veľmi vysokých teplôt (okolo 900°C), ktoré zabezpečia redukciu dechtov a s jediným splyňovacím médiom v podobe čistého kyslíka. [3]

Odpad

Rovnako ako u iných termochemických premien i u splyňovania vzniká odpad v podobe emisii spalín a popola, ktorý je tvorený zväčša oxidmi minerálnych látok. Tie pochádzajú priamo s pôdy a preto je daný popol vhodný na pôdne hnojenie.

1.6.1.3 Pyrolýza

Podstatu pyrolýzneho procesu je výroba viacerých druhov energetických produktov (pyrolýzny olej, plyn, devené uhlie). Mechanizmus pyrolýzy sme si z istej časti priblížili už pri popise procesu splyňovania biopalív, ktorého súčasťou je i istá forma pyrolýzy. Teraz sa budeme venovať procesu pyrolýzy komplexnejšie.

Proces a princípy pyrolýzy

Procesom pyrolýzy sme schopní získavať z rôznych druhov biomasy energetické produkty plynné (CO, H₂, CH₄), kvapalné (pyrolýzny olej) alebo tuhé (drevené uhlie). Zmenou určitých vlastností procesu (teplota, rýchlosť, reakčná doba a i) môžeme podľa potreby meniť druh výstupných energetických produktov. Práve podľa druhu výstupnej suroviny, rozdeľujeme pyrolýzu na:

- **Pomalá pyrolýza (karbonizácia)**

- proces prebiehajúci pri teplote okolo 450°C, s pomalým zohrievaním a dlhou dobou vyparovania. Vznikajúce plynné, kvapalné a tuhé produkty sú kvantitatívne približne v rovnováhe, avšak podstatou je výroba tuhého produktu v podobe dreveného uhlia,

- **Rýchla pyrolýza**

- proces s teplotou okolo 500°C, vysokou rýchlosťou zahrievania a relatívne krátkou dobou vyparovania (menej ako 1 sekunda), produkuje vo zvýšenej miere kvapalné produkty (približne 65% použitej biomasy),
- proces s teplotou okolo 800°C, vysokou rýchlosťou zahrievania a krátkou dobou vyparovania, produkuje najmä plynné produkty (približne 80% použitej biomasy).

Celý proces pyrolýzy začína za pôsobenia nižších teplôt (150°C), kedy dochádza k odparovaniu vody a uvoľňovaniu niektorých plynov (CO₂, CH₄, N₂). V rozmedzí teplôt 200 – 300°C sa z horľaviny odštiepuje tzv. reakčná voda (CO, CO₂, H₂S). Zvýšením teploty na hodnotu 300 – 400°C dochádza k rozkladu horľaviny za vzniku dechtových pár a uvoľňovaniu plynných zložiek (CO, CO₂, CH₄). V rozmedzí teplôt 400 – 550°C pokračuje rozklad horľaviny a tvorí sa amoniak (NH₃). Pri zvýšení teploty na 550 – 600°C sa prestávajú tvoriť dechtové pary a vzniká produkt na báze koksu (polokoks). A nakoniec v rozmedzí teplôt 600 – 1000°C dochádza k uvoľňovaniu už len plynných zložiek horľaviny, redukcii metánu (CH₄) a zvyšovaniu objemového množstva vodíka (H₂).

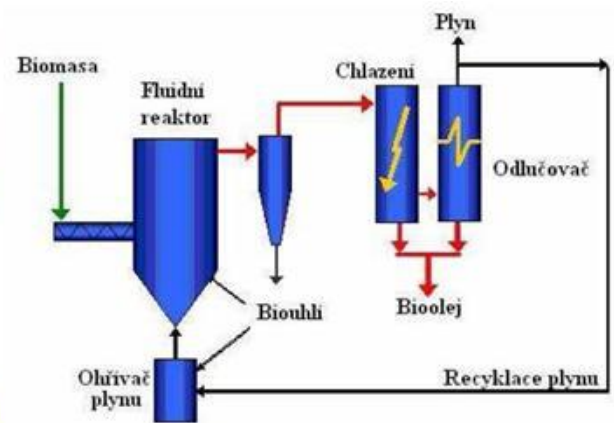
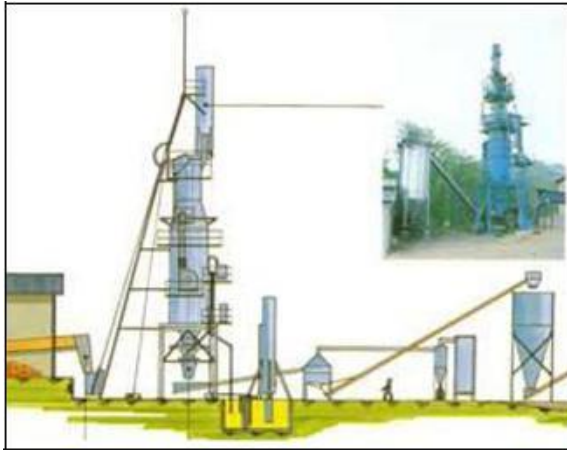
Zariadenie

Zariadenia na pyrolýzu sa delia na základe druhu požadovaného výstupného produktu, čo je vlastne delenie na základe typu pyrolýzneho procesu. Pre proces pomalej pyrolýzy, a teda výrobu dreveného uhlia pálením dreva bez prístupu vzduchu za nižších teplôt (karbonizácie) sú určené zariadenia:

- **karbonizačné pece,**
- **retorty.**

Pri procese rýchlej pyrolýzy je podstatou výroba kvapalného biopaliva, ktoré vzniká za zvýšených teplôt (500°C). Zariadenie vhodné na výrobu pyrolýzneho oleja je:

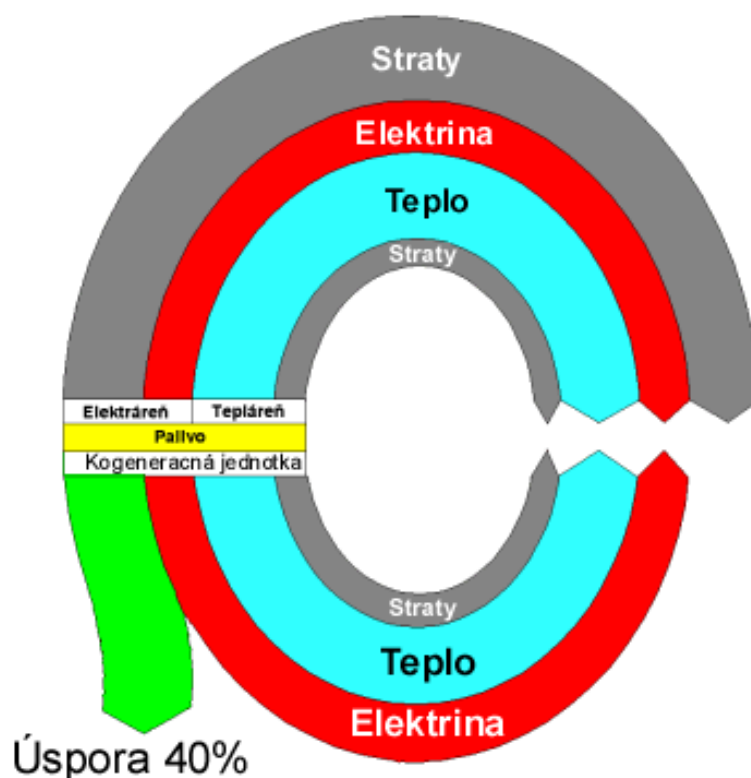
- **fluidné pyrolýzne zariadenie na báze reaktoru.**



Obrázok 3: Karbonizačná retorta (vľavo) a schéma fluidného pyrolýzneho zariadenia (vpravo)

2 Biomasa v kogenerácii

V poslednej dobe veľmi populárnym, ale zároveň veľmi významným spôsobom využívania energetických zdrojov sa stala kogenerácia. Jedná sa o spoločnú výrobu elektrickej energie a tepla. Kogenerácia v sebe zahŕňa využívanie moderných technológií, postavených na už dávno známych princípoch. Je riešením, ktorým sa dosiahlo v porovnaní s konvenčným spôsobom (oddelená výroba elektrickej energie a tepla) zvýšenie efektivity využívania palív, a tým zníženie ich priemerného spotrebovávaného množstva. Zníženie spotreby paliva má za následok i zníženie tvorby emisií skleníkových a iných plynov, čím sa redukuje nepriaznivý vplyv spaľovania palív na životné prostredie. Rozdiel v hospodárnosti narábania s palivom v prípade oddelenej výroby elektrickej energie, tepla a kogenerácie, je zrejmý z nasledujúceho obrázka, kde pri použití kogeneračnej jednotky (KJ) sa docielilo celkovej úspory 40%. To môže znamenať buď zníženie spotreby paliva alebo zvýšenie produkcie elektrickej energie a tepla práve o túto hodnotu, *viď. Obrázok 4*.



Obrázok 4: Úspora energie použitím kogenerácie

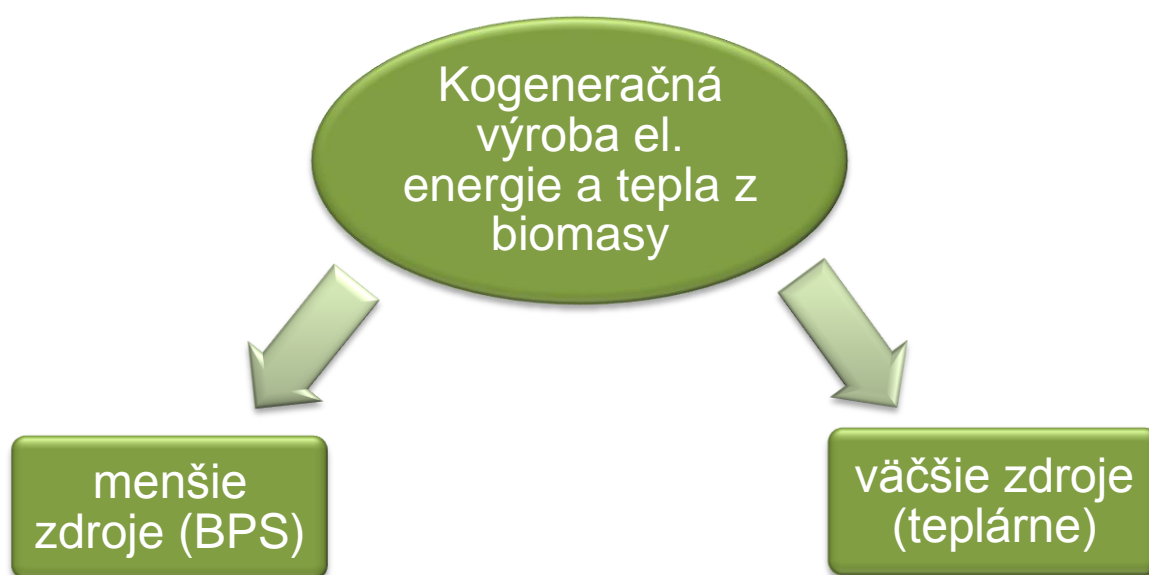
Kogenerácia rovnako patrí medzi ďalšie možnosti využívania biomasy na energetické účely. Najvyužívanejšími sú plynné biopalivá v podobe bioplynu, pochádzajúceho s procesu anaeróbnej fermentácie a generátorového plynu, vznikajúceho pri splyňovaní biomasy. Obe plynne biopalivá je pred využitím v kogeneračných zariadeniach treba vyčistiť, čím sa odstránia nežiaduce prímеси v podobe dechtových par alebo prachu, ktoré by mohli najmä u kogeneračných jednotiek so spaľovacím motorom spôsobovať komplikácie (zanášanie). Inak je

možné dané plynne biopalivá využívať vo všetkých kogeneračných zariadeniach konštrukčne, prípadne technologicky upravených na ich spaľovanie.

Rozvoj zavádzania kogenerácie, má svoje opodstatnenie. Okrem možnosti výroby tepla, ktoré sa využíva na vykurovanie objektu, v areáli ktorého je kogeneračná technológia umiestnená alebo v okruhu centrálného zásobovania tepla (CZT), sa naskytá i možnosť predaja elektrickej energie do rozvodnej siete, čím sa zvyšuje rentabilita použitého kogeneračného zariadenia. Navyiac so zavádzaním kombinovanej výroby elektrickej energie a tepla (KVET) počíta i Európsky parlament a Rada, kde sú v Smernici 2004/8/EC [15] definované podmienky, na základe ktorých je možné čerpať finančnú podporu pre zavádzanie, okrem iných i kogeneračných technológií. [16]

2.1 Technologické systémy v kogenerácii

Technologické systémy schopné pracovať v procese kogenerácie, sú tvorené viacerými zariadeniami v rôznych koncepcných riešeniach. Jednotlivé druhy týchto systémov pracujú na termomechanických princípoch tepelných obehov, a to plynových (systémy so spaľovacím motorom, spaľovacou turbínou) alebo parných (systémy s parnou turbínou). Nasledujúca schéma zobrazuje rozdelenie technologických systémov kogeneračnej výroby elektrickej energie a tepla na základe poskytovaného výkonu.



2.1.1 Menšie zdroje

Za menšie zdroje považujeme zariadenia s výkonom dosahujúcim desiatok kilowattov (kW) až jednotiek megawattov (MW). V prípade kogenerácie sú za menšie zdroje považované zariadenia využívajúce spaľovacie motory, nazývané kogeneračné jednotky (KJ). Konkrétnym príkladom malého zdroja je bioplynová stanica (BPS). BPS sú väčšinou situované v areáloch poľnohospodárskych fariem,

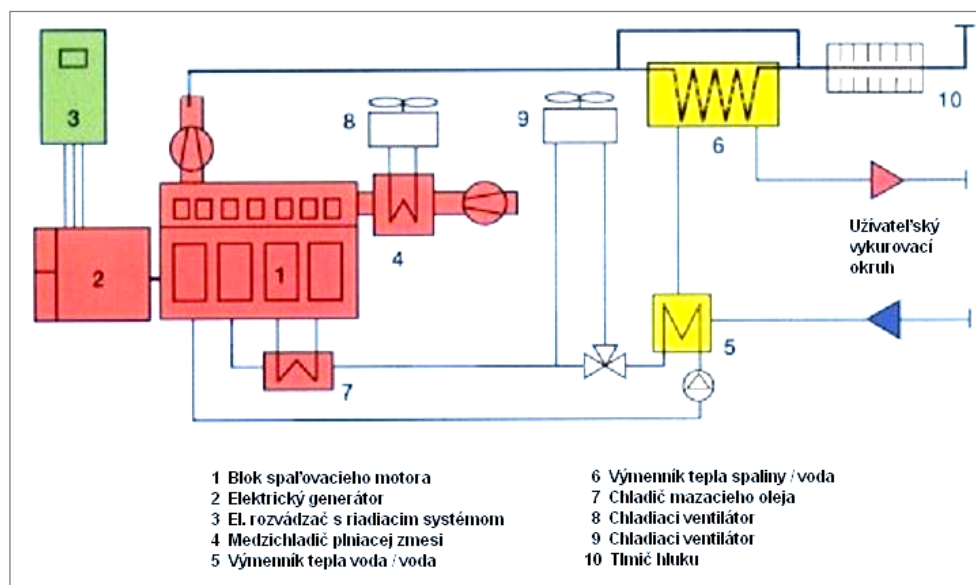
preto najčastejšie nachádzajú uplatnenie v sústavách CZT menších miest alebo obcí, kde je vyrábaná elektrická energia predávaná do siete, prípadne v niektorých druhoch priemyselných podnikov, u ktorých prebieha neustála spotreba elektrickej energie a tepla a majú možnosť výroby bioplynu priamo vo svojom areáli. Ak by sa zabezpečila dodávka bioplynu, mohla by KJ nájsť uplatnenie i v prevádzkach športových zariadení, nemocniciach, väčších komplexoch budov, kde sa súčasne spotrebúva elektrická energia a teplo, podobne ako KJ poháňaná zemným plynom. V takomto prípade by ako vhodnejšie riešenie prichádzalo do úvahy využívať na pohon KJ namiesto bioplynu plyn generátorový, ktorého výroba by bola možná priamo v areáli zásobovaného objektu. Ďalším možným riešením by bol pohon pomocou kvapalných biopalív (bionafta, bioetanol).

2.1.1.1 Kogeneračné zariadenie so spaľovacím motorom

Jedná sa o najjednoduchšie zariadenie v rámci kogeneračných systémov, ktorého veľkou výhodou je po spustení v podstate okamžitý nábeh do prevádzkového stavu. V praxi sa tieto zariadenia označujú ako kogeneračné jednotky (KJ). Ako palivo využívajú plyné biopalivá (bioplyn, generátorový plyn) prípadne kvapalné biopalivá (bionafta). Celý systém je tvorený viacerými časťami, kde medzi hlavné patria:

- **spaľovací motor**, jedná sa o klasický piestový motor zážihový alebo vznetový, ktorý je v prípade spaľovania plyných biopalív upravený na motor plynový,
- **generátor elektrickej energie**, je prostredníctvom spojky spojený z hriadeľom spaľovacieho motora, ktorý ním otáča,
- **výmenník voda/voda, spaliny/voda**, sprostredkúva ohrev úžitkovej vody alebo vody v okruhu CZT,
- **elektrický rozvádzač s riadiacim systémom**, jeho úlohou je rozdeľovať generovanú elektrickú energiu medzi vlastnú spotrebu a elektrickú sieť.

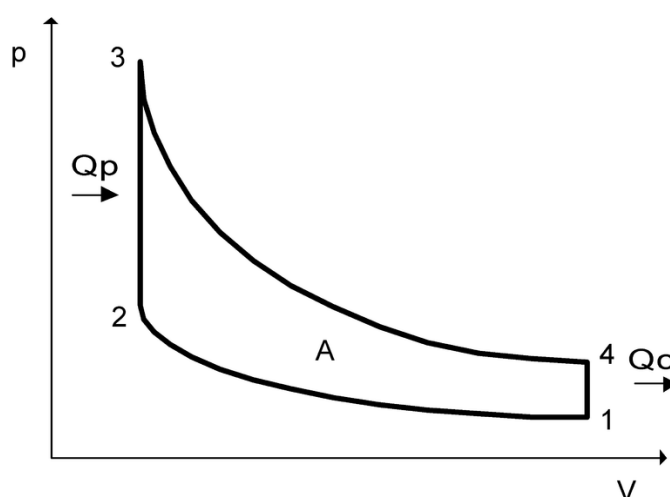
Mechanizmus chodu KJ začína pri prívode paliva do spaľovacieho motora, kde sa premieňa chemická energia paliva na energiu mechanickú a tepelnú. Mechanická energia roztáča hriadeľ motora, ktorý je spojený cez spojku s generátorom. Spojka slúži na plynulý prenos otáčok z hriadeľa motora na generátor, ktorého úlohou je výroba elektrickej energie. Tepelná energia je tvorená teplom uvoľňujúcim sa z bloku motora, ktoré je odvádzané chladiacou kvapalinou a teplom odvádzaným v spalinách. Oba druhy tepelnej energie sme schopní využiť, a to prostredníctvom výmenníkov tepla. Jedným je výmenník voda/voda, na ktorom prebieha kondenzácia chladiacej zmesi a odovzdané teplo slúži na ohrev úžitkovej vody alebo vody v okruhu CZT. V druhom výmenníku spaliny/voda je cieľ rovnaký, avšak nositeľom odovzdávanej tepelnej energie nie je chladiaca kvapalina, ale spaliny, ktoré na výmenníku nekondenzujú, len odovzdávajú teplo vode. Generovaná elektrická energia sa ďalej rozdeľuje na energiu využívanú na vlastnú spotrebu zariadenia a energiu privádzanú do elektrickej siete. Na nasledujúcom obrázku je viditeľná schéma systému so spaľovacím motorom aj s popisom jednotlivých častí, *vid'. Obrázok 5 . [17,18]*



Obrázok 5: Schéma kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom

KJ so spaľovacím motorom funguje na princípe plynového tepelného obehu (pracovná látka je spaľovaný plyn). Na nasledujúcom obrázku je zobrazený príklad porovnávacieho tepelného obehu spaľovacieho motora, z ktorého je zrejماً energetická bilancia KJ, *vid'. Obrázok 6*. Množstvo vykonanej práce spotrebovanej na pohon generátora predstavuje rozdiel medzi energiou vstupnou (energia uvoľnená pri spaľovaní paliva) a výstupnou (tepelná energia odvádzaná v spalinách), teda:

$$A = Q_p - Q_o \quad [J]$$



Obrázok 6: Príklad plynového tepelného obehu (Ottov cyklus)

Vyrobená elektrická energia predstavuje zhruba 30% dodávanej energie paliva a tepelná energia zhruba 50% a zostatok tvoria tepelné straty. Z uvedeného vyplýva, že celková účinnosť zariadenia sa pohybuje okolo 80%.

Výkonnostne sa kogeneračné jednotky so spaľovacími motormi pohybujú približne v rozmedzí od 10 kW_e (kilowatt elektrický) do 17 MW_e (megawatt elektrický). [18]

2.1.2 Väčšie zdroje

Za väčšie zdroje považujeme zariadenia dosahujúce výkonov od desiatok kilowattov (kW) až po stovky megawattov (MW). Konkrétnym príkladom využitia väčších zdrojov sú teplárne poskytujúce centrálnu zásobovanie teplom (CZT) vo veľkých mestách alebo veľké priemyselné podniky, s nepretržitou prevádzkou a veľkou spotrebou elektrickej energie a tepla. Aby bolo možné dosiahnuť požadovaných väčších výkonov, musel byť spaľovací motor nahradený tepelnou turbínou (parná turbína, spaľovacia turbína) a k nej adekvátnym pohonným zariadením (parný kotol, spaľovacia komora), pomocou ktorého sme schopní využívať jej výkonnostný potenciál. Medzi systémy používané vo väčších kogeneračných zariadeniach patrí:

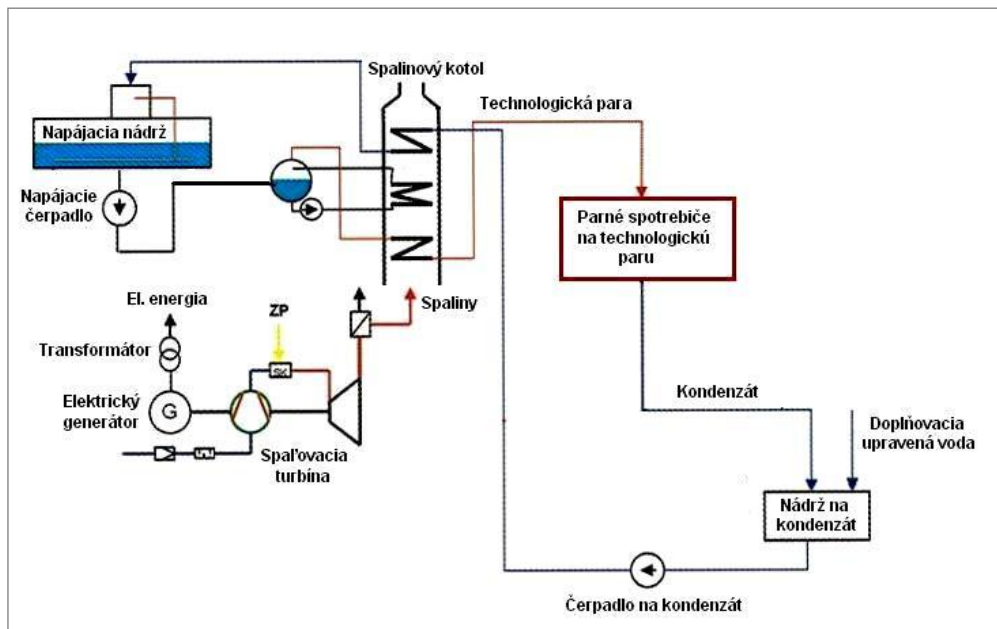
2.1.2.1 Kogeneračné zariadenie so spaľovacou turbínou

Jedná sa podobne ako u malých zdrojov o kogeneračnú jednotku (KJ), keďže základom zariadenia je spaľovacia turbína. Takýto typ zariadenia nachádza uplatnenie najmä v teplárňach alebo vo veľkých priemyselných podnikoch, kde sa okrem spotreby elektrickej energie využíva i tepelná energia na výrobu pary, k pohonu pracovných zariadení podniku. Celé zariadenie je tvorené nasledujúcimi hlavnými časťami:

- **kompresor**, nasáva atmosférický vzduch a stláča ho na vyššiu hodnotu tlaku, hriadeľom je spojený so spalínovou turbínou,
- **spaľovacia komora**, tu prebieha proces spaľovania zmesi paliva a stlačeného vzduchu,
- **spalínová turbína**, prostredníctvom hriadeľa so spojkou poháňa generátor elektrickej energie,
- **generátor elektrickej energie**,
- **spalínový kotol s výmenníkom spaliny/voda resp. výparníkom**, tu dochádza k zhromažďovaniu spalín po prechode turbínou a následnému odovzdávaniu tepla úžitkovej vode do okruhu CZT resp. napájacej vode za vzniku vodnej pary.

Mechanizmus chodu kogeneračnej jednotky so spaľovacou turbínou sa začína v spaľovacej komore, kde sa spaľuje zmes paliva a kompresorom stlačeného vzduchu. Energia so spaľovania paliva sa premení na tepelnú a kinetickú energiu spalín. Vzniknuté spaliny sa privádzajú na spalínovú turbínu, kde odovzdávajú svoju kinetickú energiu, čím roztáčajú turbínu a prostredníctvom hriadeľa so spojkou i generátor elektrickej energie. Spaliny po prechode turbínou síce stratia energiu kinetickú, ale ich teplota sa pohybuje okolo hodnoty 500°C. Preto sa následne vedú do spalínového kotla, kde odovzdávajú i svoju tepelnú energiu, a to úžitkovej vode a

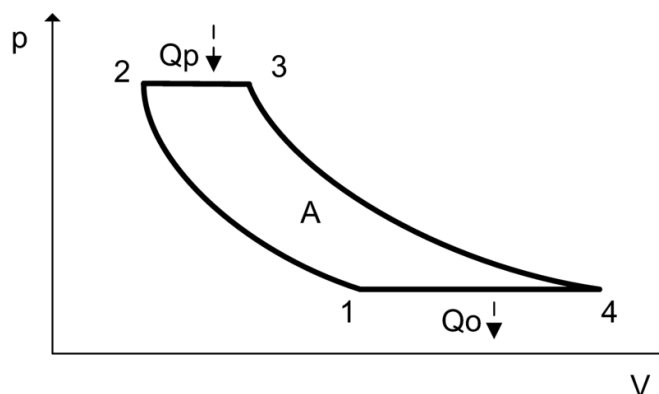
do okruhu CZT vo výmenníku resp. vo výparníku napájacej vode za vzniku pary, ktorá je následne využívaná v technologických zariadeniach podniku a po skondenzovaní sa pomocou čerpadla privádza opäť na výparník. Príkladnú schému kogeneračnej jednotky (KJ) so spaľovacou turbínou zobrazuje nasledujúci obrázok, vid'. Obrázok 7 .



Obrázok 7: Schéma kogeneračnej jendotky so spaľovacou turbínou

KJ so spaľovacou turbínou fungujú na základe princípu plyných tepelných obehov. Ako porovnávací obeh sa využívajú obeh tepelných plynových turbín (obeh Braytonov resp. obeh Humphreyov), na základe ktorých sa určuje energetická bilancia zariadenia. Príklad takéhoto porovnávacieho obehu je zobrazený na nasledujúcom obrázku, vid'. Obrázok 8 . Množstvo vykonanej práce na pohon generátora elektrickej energie, rovnako ako u KJ so spaľovacím motorom, predstavuje rozdiel medzi vstupnou energiou paliva a výstupnou energiou spalín:

$$A = Q_p - Q_o \text{ [J]}$$



Obrázok 8: Porovnávací obeh plynovej turbíny (Braytonov obeh)

Kogeneračné jednotky so spaľovacou turbínou sa výkonnostne pohybujú v rozmedzí od 30 kW_e až približne do 300 MW_e. [18]

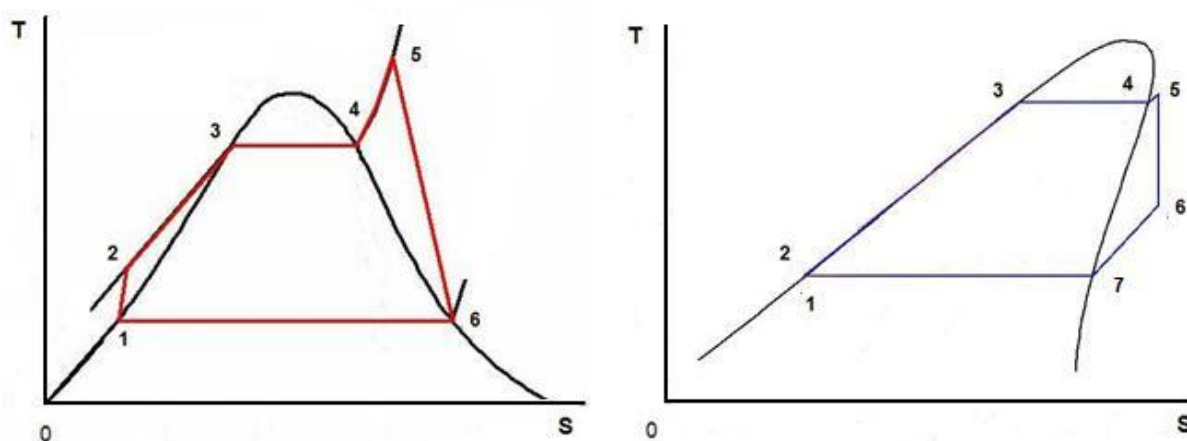
2.1.2.2 Kogeneračné zariadenie s parnou turbínou

Podobne ako predchádzajúci typ kogeneračného zariadenia i tento typ zariadení sa využíva hlavne vo veľkých teplárenských zariadeniach poskytujúcich centrálnu zásobu tepla (CZT) vo veľkých mestách, prípadne veľkých priemyselných podnikoch. Čo sa týka palív, je možné využívať biopalaivá všetkých druhov v závislosti na type spaľovacieho zariadenia. Využívanie parnej turbíny v kogeneračnom zariadení má istú nevýhodu spočívajúcu v pomalšom nábehu do prevádzkového stavu, ktorej hlavnou príčinou je nutnosťou počiatočnej výroby dostatočného množstva pary a následným rozbehom jednotlivých častí zariadenia. Medzi hlavné časti zariadenia patrí:

- **spaľovací kotol s výparníkom (generátor pary)**, spaľovaním rôznych druhov biopalív vzniká teplo, ktoré sa privádza na výparníku, kde generuje paru,
- **prehrievač**, prehrievaním pary sa upravujú jej parametre ešte pred vstupom do turbíny aby pri expanzii na lopatkách nedochádzalo ku vzniku kondenzátu a následnému deštruktívnemu účinku,
- **parná turbína**, je roztáčaná expandujúcou parou na jej lopatkách,
- **generátor elektrickej energie**, je roztáčaný spolu s turbínou prostredníctvom ich spojenia,
- **kondenzátor pary**, odoberá teplo nízkotlakovej pare za turbínou, ktoré sa ďalej môže využívať,
- **napájacie čerpadlo**, čerpá kondenzát vznikajúci v kondenzátore späť do spaľovacieho kotla.

Základným princípom kogeneračného zariadenia s parnou turbínou je parný tepelný obeh resp. cyklus (pracovnou látkou je kvapalina meniaci sa pri obehu kvapalným skupenstvom na parné a opačne). Ako porovnávací obeh sa používa klasický Rankine - Clausiov parostrojný cyklus (RC cyklus), ak sa ako pracovná látka využíva voda alebo Organický Rankine - Clausiov cyklus (ORC cyklus), ak sa ako pracovná látka využíva organická kvapalina (olej). Oba porovnávacie cykly sú zobrazené v nasledujúcom obrázku, *vid'. Obrázok 9*. U oboch cyklov je množstvo vykonanej práce pri roztáčaní generátora A_t rovné zmene resp. úbytku entalpie (tepelnej energie pracovnej látky), pri prechode turbínou alebo je ju možné určiť nepriamo z rozdielu privádzanej a odvádzanej energie. Privádzaná tepelná energia Q_p sa určí z rozdielu entalpií stavu pracovnej látky pred a po prechode parným generátorom a odvádzaná tepelná energia Q_o , ktorá je ďalej využívaná v okruhu CZT sa určí s rozdielom entalpií stavu pracovnej látky pred a po prechode kondenzačným zariadením. Potom opäť platí vzťah:

$$A_t = Q_p - Q_o \text{ [J]}$$

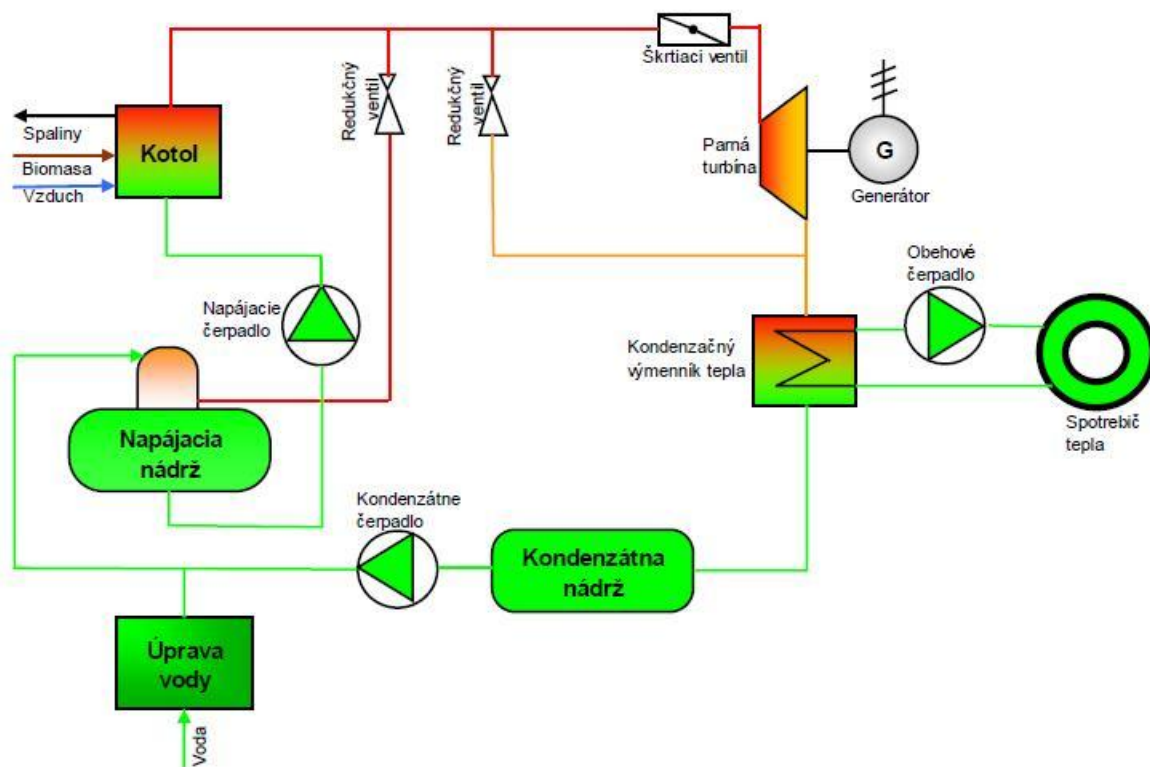


Obrázok 9: *T - s* diagramy RC cyklu (vľavo) a ORC cyklu (vpravo)

Mechanizmus chodu zariadenia na báze RC cyklu

Mechanizmus chodu kogeneračného zariadenia s parnou turbínou na princípe RC cyklu, sa začína spaľovaním paliva v kotlovom spaľovacom zariadení. Tepelná energia uvoľňovaná zo spaľovaného paliva sa vo výparníku odovzdáva napájacej vode za vzniku vysokotlakovej vodnej pary. Následne sa para vedie potrubným systémom do prehrievača, kde sa jej parametre upravujú na parametre tzv. admisnej pary (tlak približne 14,5 MPa, teplota okolo 530°C), aby sa znížilo riziko predčasnej kondenzácie pary a s tým spojeného deštruktívneho účinku na lopatkách turbíny. Takto pripravená para sa privádza na turbínu, kde odovzdáva svoju kinetickú energiu a roztáča turbínu spojenú s generátorom elektrickej energie, ktorý sa uvedie do činnosti a vyrábaná elektrická energia sa vedie do elektrickej rozvodnej sústavy. Para po prechode turbínou stráca svoj tlakový potenciál a stáva sa nízkotlakovou. Takúto paru je možno v kondenzátore využívať na ohrev úžitkovej vody alebo vody v okruhu CZT. Po skondenzovaní sa už vo forme kvapaliny privádza čerpadlom opäť na výparník. Približná schéma kogeneračného zariadenia pracujúceho na princípe klasického RC cyklu je na nasledujúcom obrázku, *vid'. Obrázok 10*.

Výkonovo sa kogeneračné zariadenia s parnou turbínou pracujúce na princípe klasického RC cyklu pohybujú v rozmedzí od 100 kW_e až do 700 MW_e. [18]



Obrázok 10: Príklad schémy zariadenia s parnou turbínou na báze RC cyklu

Mechanizmus chodu zariadenia na báze ORC cyklu

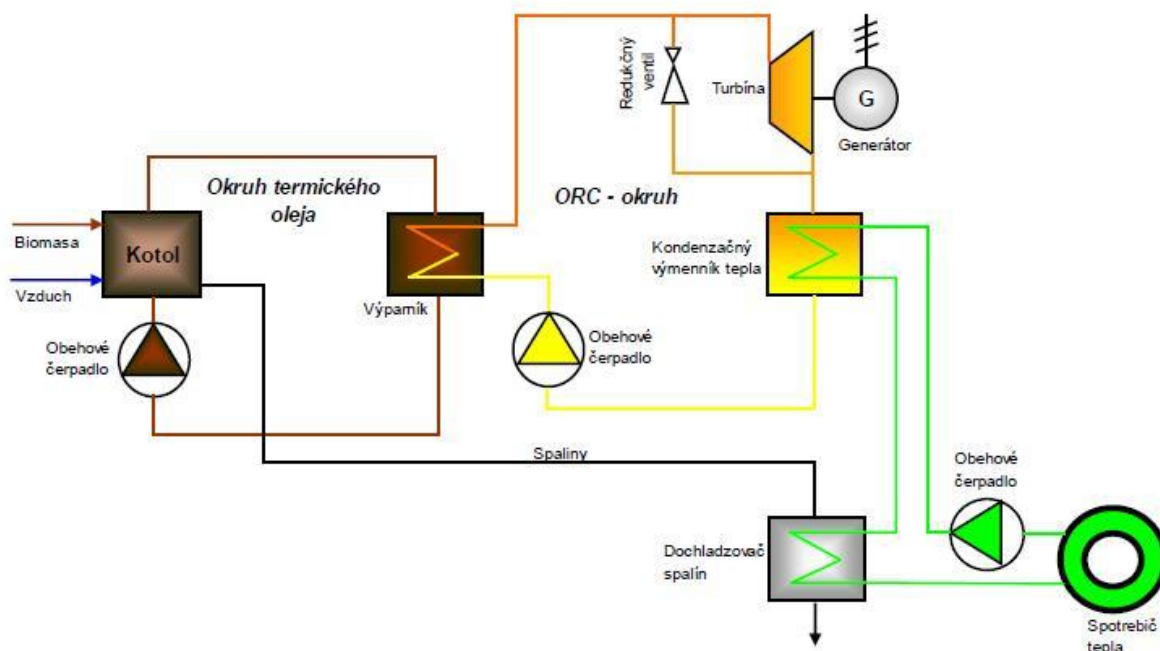
Rozdiel medzi kogeneračným zariadením pracujúcim na princípe RC cyklu a ORC cyklu, je okrem pracovnej látky i v počte okruhov, medzi ktorými sa prenáša tepelná energia. V prípade ORC cyklu sa pracuje s dvomi okruhmi (RC cyklus má jeden), primárny a sekundárny. V primárnom je pracovnou látkou organická zmes (silikónový olej). Pracovnou látkou sekundárneho okruhu je termoolej. Samozrejme má využívanie ORC cyklu v porovnaní s klasickým RC cyklom viaceré výhody, medzi ktoré patria:

- nižšie otáčky turbíny, čo dovoľuje jej priame spojenie s generátorom,
- minimálny deštrukčný účinok pracovnej látky na lopatkách turbíny,
- nižší tlak a teplota v celom obehu,
- vyššia životnosť zariadenia,
- nižšie náklady na chod celého zariadenia, a i.

Samotný mechanizmus začína spaľovaním biopalív v kotlovom spaľovacom zariadení, kde vzniká tepelná energia uvoľnená z paliva, ktorá je vo výmenníku odovzdávaná do sekundárneho okruhu s termoolejom. Výhodou využívania termooleja je jeho schopnosť zachovávať si za vysokých teplôt privádzaných na výmenník v spaľovacom zariadení (okolo 300°C) kvapalný stav pri podstatne nižšom tlaku, ako je tomu u vody. Ďalej je zohriaty a stále kvapalný termoolej vedený do

výparníka, kde odovzdáva naakumulovanú tepelnú energiu primárnemu okruhu so silikónovým olejom. Dochádza k vzniku organickej pary, ktorá má v porovnaní s anorganickou parou (vodná para) vyšší tlakový potenciál. Para sa vedie na turbínu, kde expanduje a odovzdáva svoju kinetickú energiu lopatkám. Tým sa turbína roztáča a paralelne s ňou sa roztáča i generátor, ktorý vyrába elektrickú energiu odvádzanú do elektrickej rozvodnej siete. Para už s nižším tlakovým potenciálom sa privádza do kondenzátora, kde kondenzuje a odovzdáva tak svoju tepelnú energiu úžitkovej vode alebo do sústavy CZT. Potom, už opäť ako olej, je napájacím čerpadlom privádzaná späť na výparník. Schéma takéhoto teplárenského zariadenia pracujúceho na princípe ORC cyklu, je zobrazené na nasledujúcom obrázku, *vid' Obrázok 11*.

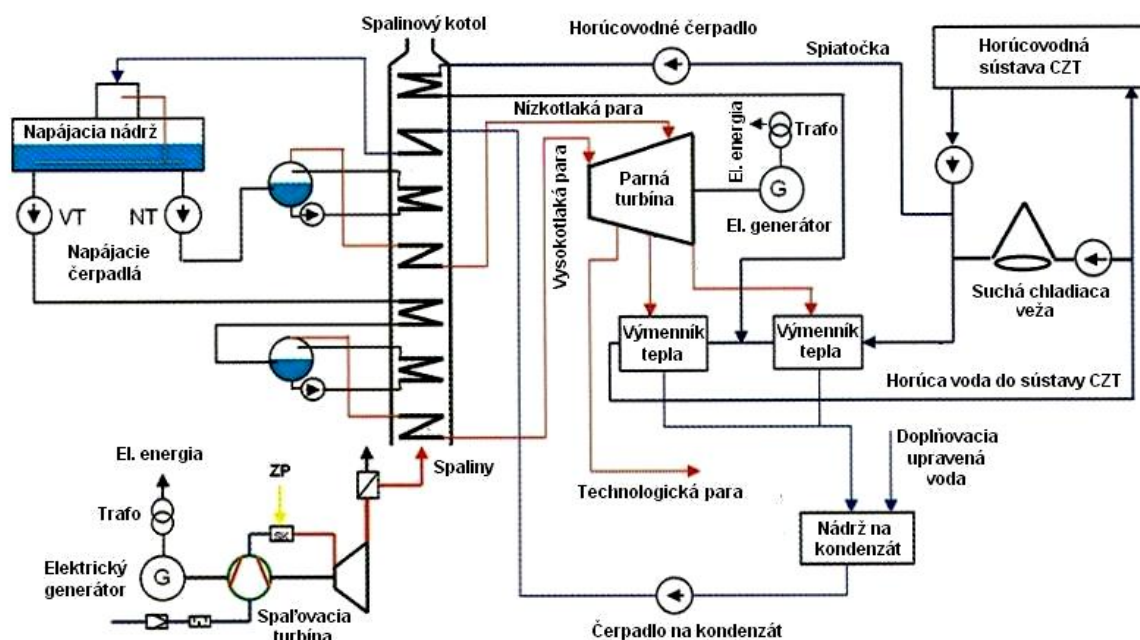
Výkony kogeneračných zariadení s parnou turbínou pracujúce na princípe ORC cyklu sa pohybujú v rozmedzí od 200 kW_e až do 1500 MW_e. [3]



Obrázok 11: Príklad schémy zariadenia na báze ORC cyklu

2.1.2.3 Kogeneračné zariadenie na báze paroplyn. cyklu

V podstate sa jedná o typ kogeneračného zariadenia, ktorý je založený na systéme kogeneračnej jednotky a za spalínovým kotlom doplnený o systém s parnou turbínou. Cieľom takéhoto riešenia zariadenia je snaha o zvýšenie podielu vyrábanej elektrickej energie, ktorý sa z priemerných 30% v prípade chodu zariadení oddelene, zvýši na 45%. Tým sa zníži podiel vyrábanej tepelnej energie, ktorej podiel u paroplynového cyklu predstavuje približne rovnakú hodnotu ako energie elektrickej. Kogeneračné zariadenie na báze paroplynového cyklu nachádza využitie v obdobných prípadoch, ako systémy pracujúce oddelene (teplárne, veľké priemyselné podniky). To sa týka i jeho zloženia. Príklad schémy daného zariadenia, je na nasledujúcom obrázku, *vid' Obrázok 12*.



Obrázok 12: Príklad schémy kogeneračného zariadenia s paroplynovým cyklom

2.2 Biopalivá pre kogeneráciu

Vzhľadom na to, že kogeneračné zariadenia sa vyrábajú vo viacerých koncepčných riešeniach, je možné pri kogenerácii využívať viacero druhov biopalív. Ako už bolo spomenuté, najvyužívanejšie sú plynné biopalivá, ktoré sa využívajú k pohonu kogeneračných jednotiek (KJ), či spaľovacích turbín. Kvapalné biopalivá je možné využiť u KJ a pevné biopalivo je využiteľné pri výrobe pary v kotlových systémoch s parnou turbínou. Najväčšiu pozornosť však venujeme palivám plynným, konkrétne bioplynu, keďže sa s jeho využívaním spája veľa pozitívnych vlastností (znižovanie škodlivých emisií spaľovania, znižovanie vzniku skleníkových plynov z voľného hnilobného procesu a i.).

2.2.1 Bioplyn

2.2.1.1 Biomasa vhodná na výrobu bioplynu

Pojmom bioplyn sa označuje plynné palivo vyrábané anaeróbnou fermentáciou z vhodného biomasného materiálu. Tento materiál je zväčša tvorený odpadnou biomasou alebo priamo fytomasou z poľnohospodárskeho priemyslu, ďalej sa využíva i odpadná biomasa s komunálnych čističiek odpadných vôd (ČOV). Vhodnosť materiálu pre anaeróbnou fermentáciu ovplyvňuje viacero faktorov: [3, 6]

- nízky obsah nerozložiteľného anorganického podielu,
- vysoký obsah biologicky rozložiteľných látok,
- optimálny obsah sušiny, ktorý sa pohybuje v rozmedzí od minimálneho obsahu 4% do maximálneho obsahu 50% sušiny. Pod minimom prebieha proces s negatívnou energetickou bilanciou, nad maximom je materiál príliš hustý a vzniká problém s jeho dopravou do fermentačného zariadenia,
- faktor pH, ktorý určuje kyslosť resp. zásaditosť materiálu. Za optimálnu hodnotu u vstupného materiálu sa pokladá $\text{pH} = 7 - 7,8$. Toto číslo sa v priebehu procesu fermentácie mení. Ak by pH hodnota materiálu nespĺňala stanovené požiadavky, je možné ju meniť pridávaním kyslých prísad (ak je pH vysoké) alebo zásaditých prísad (ak je pH nízke),
- pomer uhlíkatých a dusíkatých látok v materiáli. Za optimálny pomer sa považuje $\text{C} : \text{N} = 30 : 1$. Vyššie obsahy dusíkatých látok spôsobujú vznik amoniaku, ktorý narúša fermentačný proces a tým i kvalitu bioplynu,
- nízky obsah inhybujúcich látok (látky, ktoré narúšajú priebeh určitej činnosti) napr. antibiotiká podávané zvieratám. Z toho dôvodu je vhodné predchádzať i pridávaniu materiálu, ktorý je už v štádiu hnilobného rozkladu.

Okrem predpokladov očakávaných u vstupného materiálu, je nutné brať do úvahy i faktory, ktoré ovplyvňujú proces fermentácie až v jeho priebehu. Jedná sa o technologické faktory, ktoré sú smerodajné najmä pri konštrukčných návrhoch fermentačných zariadení. Týmito faktormi sú: [3]

- Teplota a tlak procesu, kde najmä teplota významne ovplyvňuje činnosť mikrobiálnych baktérií. Z praxe je známe, že hoci je za vyšších teplôt (nad 45°C) produkcia bioplynu vyššia, vznikajú v procese negatívne vplyvy, ktoré si vyžadujú rôzne formy regulácie, a tým sa zvyšujú celkové náklady. Optimálne teplotné riešenie procesu si preto vyžaduje svedomité uváženie pozitív a negatív. Voči tlakovým výkyvom sú naopak baktérie odolné.
- Aklimatizačná doba, čo je v podstate doba potrebná na stabilizovanie procesu v jednotlivých fázach. Závisí od rýchlosti rastu počtu mikrobiálnych baktérií. Aby bola stabilizačná doba čo najkratšia, využívajú sa zárodky z už predtým stabilizovaných fáz.

Nasledujúca tabuľka prináša konkrétne príklady niekoľkých druhov biomasného materiálu, vhodných k využitiu na výrobu bioplynu. Ďalej sú uvedené priemerné hodnoty objemového množstva bioplynu, ktorý sme schopní získať z jednej tony daného materiálu, *vid'. Tabuľka 6*.

druh vstupného materiálu	výnosnosť bioplynu [$\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$]
hovädzia močovka	25
odpad z ČOV	30
prasacia močovka	36
mliekarenský odpad	55
mlato - zbytky pri výrobe piva	75
husté exkrementy	80
zelený odpad	110
čerstvé tuky	400
zemiaky	88
krmna repa	94
tráva (čerstvá)	97
pšenica	658

Tabuľka 6: Produkcia bioplynu z rôznych druhov odpadnej biomasy a fytomasy [17]

2.2.1.2 Výroba bioplynu

Bioplyn sa získava pri procese anaeróbnej fermentácie. Jedná sa o súbor na seba nadväzujúcich podprocesov, pri ktorých sa pôsobením rôznych druhov mikrobiálnych baktérií bez prístupu vzduchu rozkladá organický materiál. Mechanizmom je sekvenčný prechod materiálu jednotlivými podprocesmi, v ktorých sa práve pôsobením určitého druhu mikroorganizmov vytvára premena biomasného materiálu a prostredia technologického zariadenia na materiál a prostredie vhodné pre činnosť iného druhu baktérií. V konečnom dôsledku ako výstupný produkt vzniká bioplyn a odpadný materiál v podobe vyhnitého substrátu s nerozloženými zvyškami hmoty.

Mechanizmus vzniku bioplynu je tvorený štyrmi podprocesmi resp. fázami: [3]



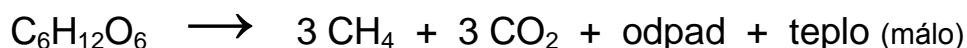
1. Hydrolýza - prvá fáza prebieha za prítomnosti vzdušného kyslíku, kedy sa požaduje minimálna vlhkosť materiálu 50 %. Podstatou je enzymatický rozklad organických polymérnych reťazcov (napr. polysacharidy) obsiahnutých v biomase na jednoduchšie monoméne látky (napr. monosacharidy) pôsobením hydrolytických mikroorganizmov.

2. Acidogenéza - v druhej fáze sa pôsobením fakultatívnych aneaeobných mikroorganizmov rozkladajú produkty hydrolýzy na ešte jednoduchšie látky (vyššie organické kyseliny) a dochádza k úplnému vytvoreniu anaeróbného prostredia, vhodného pre činnosť anaeróbných baktérií.

3. Acetogenéza - jedná sa v podstate o medzifázu, prebiehajúcu viacmenej paralelne s acidogenézou. Dochádza k transformácii vyšších organických kyselín na kyselinu octovú (CH_3COOH), vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2), prostredníctvom činnosti acetogénnych baktérií.

4. Metánogenéza - posledná a najvýznamnejšia fáza z pohľadu tvorby bioplynu, kedy vzniká jeho základná zložka, a to metán (CH_4). K vzniku metánu dochádza pôsobením dvoch druhov metánogénnych baktérií. Metánogénne acetotrofné baktérie štiepia kyselinu octovú (CH_3COOH) na metán (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2), hydrogenotrofné baktérie vytvárajú metán z vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2).

Nasledujúca rovnica premeny udáva príklad dokonalého anaeróbného procesu: [6]



Pri dokonalom anaeróbnom procese približne od 50 do 75 % bioplynu tvorí metán (CH_4) a zvyšok, teda od 25 do 50 % je tvorený oxidom uhličitým (CO_2). Avšak reálnemu procesu odpovedá vznik bioplynu zloženého okrem majoritných plynov (CH_4 , CO_2) i z viacerých minoritných zložiek (H_2 , H_2S , N_2). Na základe zloženia vznikajúceho bioplynu sme schopní kvalitatívne posúdiť priebeh fermentačného procesu. Preto ak plyn obsahuje veľké množstvo oxidu uhličitého (CO_2), znamená to, že nebola splnená podmienka anaeróbnej fermentácie, a teda prišlo k zavzdušňovaniu pracovného priestoru v pokročilých fázach procesu. Tento predpoklad môže potvrdiť i prítomnosť voľného kyslíka (O_2), čo je však nežiaduci a najvyššie nebezpečný stav, keďže kyslík spolu s metánom vo vyššej koncentrácii (6 - 12 % objemových) tvoria výbušnú zmes. Ďalším indikátorom stavu procesu je obsah vodíku (H_2), čo znamená buď narušenie rovnováhy medzi acidogénnou a metánogénnou fázou, alebo inhibičný účinok vedúci k potlačeniu rozvoja hydrogenotrofných mikroorganizmov. [6]

Po vzniku bioplynu v procese anaeróbnej fermentácie, tento ešte nie je dostatočne vhodný pre efektívne energetické využitie, a to z dôvodu obsahu niektorých zložiek (H_2S , H_2O , CO_2 , sadze a i.). Preto je nutné bioplyn ďalej podrobiť procesu čistenia tzv. praniu bioplynu, pri ktorom sú nežiaduce zložky odstránené. Takto ošetrovaný je vhodný ako palivo napr. pre spaľovacie motory kogeneračných jednotiek. V nasledujúcej tabuľke sú pre porovnanie uvedené niektoré významné vlastnosti bioplynu a zemného plynu, *vid'. Tabuľka 7*

Plyn	hustota [kg.m^{-3}]	spalné teplo [MJ.kg^{-1}]	výhrevnosť [MJ.kg^{-1}]
bioplyn	1,2	21,6	21,6
zemný plyn	0,7	39,8	36

Tabuľka 7: Porovnanie vlastností bioplynu a zemného plynu [6]

Okrem bioplynu, ďalším výstupným produktom procesu anaeróbnej fermentácie je vyfementovaný odpadný materiál - digestát. V prípade, že sa jedná o digestát, ktorý vznikol z odpadov poľnohospodárskej výroby (močovka, odpadná fytomasa) a spĺňa

limity obsahu rizikových prvkov, môže byť použitý ako veľmi významné organické hnojivo. Podľa niektorých odborníkov má takýto typ hnojiva viaceré pozitívne účinky na pestované rastliny, napr. zvyšovanie ich odolnosti voči chorobám a škodcom.

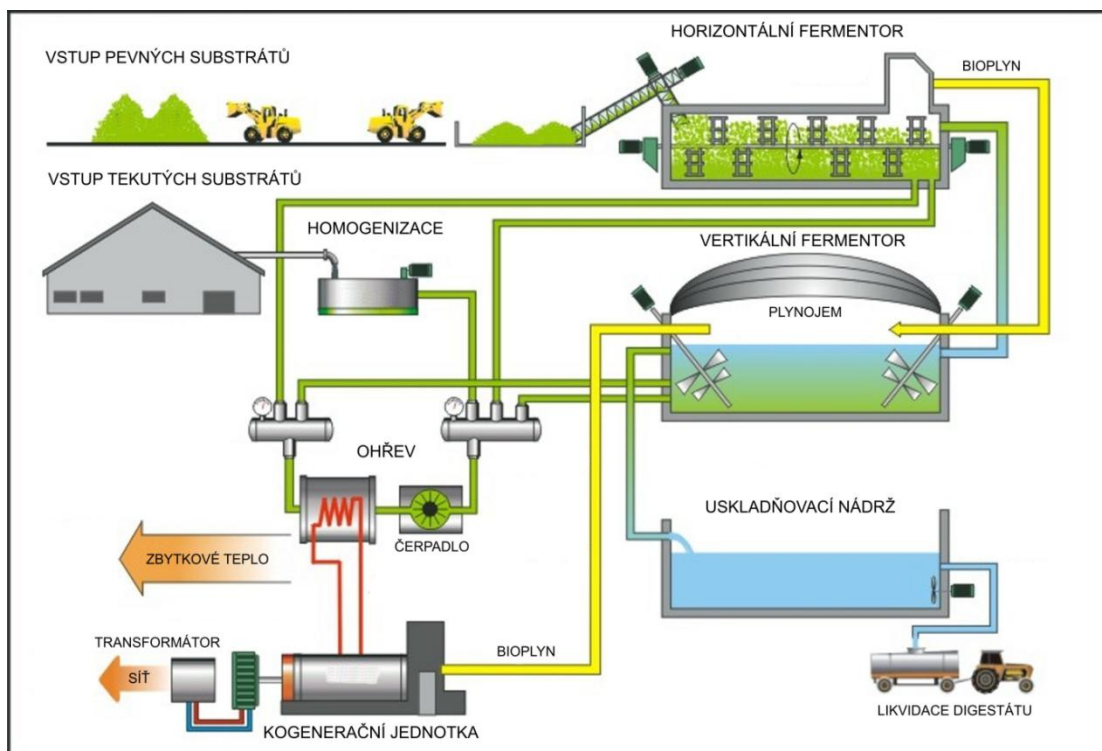
2.2.1.3 Bioplynová stanica (BPS)

Je komplexné zariadenie umožňujúce výrobu bioplynu z odpadnej biomasy, jeho následné čistenie a skladovanie. Väčšinou je súčasťou bioplynovej stanice i kogeneračná jednotka (KJ). Vyrábaná elektrická energia je v prvom rade využívaná na pokrytie energetických nákladov, spojených s prevádzkou areálu, v ktorom je BPS umiestnená, v prípade prebytku je možné ju predávať do elektrickej siete. Teplo sa využíva na ohrev úžitkovej vody v okruhu CZT. Týmto areálmi sú buď poľnohospodárske družstvá, vtedy hovoríme o poľnohospodárskych BPS alebo priemyselné objekty, vtedy hovoríme o priemyselných BPS. Rozdiel medzi nimi je v druhu odpadnej biomasy využívanej na tvorbu bioplynu. Okrem BPS sa podobná koncepcia zariadenia využíva i u čističiek odpadných vôd (ČOV) s anaeróbnou stabilizáciou kalov, kde sa rovnako prostredníctvom KJ využíva bioplyn vznikajúci pri tejto stabilizácii k pokrytiu vlastných energetických nákladov na prevádzku alebo sa predáva do siete.

Štandardne sa BPS skladá z nasledujúcich častí: [6,17]

- **separačné nádrže vybavené zariadením na úpravu biomasy**, pomocou týchto zariadení sa vhodnou úpravou docieli forma biomasy vhodná na fermentáciu (separácia hrubých prímiesí, riedenie / zahusťovanie, aktivácia mikroflóry, homogenizácia, a i.),
- **anaeróbny reaktor – fermentor**, práve v ňom prebieha anaeróbna fermentácia, a preto je najdôležitejšou súčasťou BPS. Fermentory sa vyrábajú v rôznych tvarových a materiálových vyhotoveniach, s horizontálnym alebo vertikálnym spôsobom uloženia. Väčšina fermentorov je vybavená integrovaným miešacím, homogenizačným a dávkovacím zariadením. Veľkosť fermentora sa volí na základe výkonu koncového spaľovacieho zariadenia - kogeneračnej jednotky (KJ),
- **bioplynová koncovka**, jedná sa o dopravné potrubie bioplynu, so sériovo radenými zariadeniami. Z fermentora sa pomocou dúchadla transportuje bioplyn do plynojemu. Ide o zásobník, ktorý pomáha stabilizovať dodávky bioplynu do koncového zariadenia. Z plynojemu je bioplyn transportovaný do čističky a zbavený prebytočných zložiek. Na konci je radená kogeneračná jednotka (KJ),
- **kalová koncovka**, potrubný systém so zariadeniami na transport digestátu z fermentora do uskladňovacej nádrže. Ako už bolo spomenuté, ak sa jedná o digestát vyfermentovaný z poľnohospodárskej odpadnej biomasy, potom sa môže využívať ako kvalitné organické hnojivo.

Nasledujúci obrázok zobrazuje približnú schému popisovanej bioplynovej stanice (BPS), *vid'. Obrázok 13*.



Obrázok 13: Schéma bioplynovej stanice

2.3 Vyššie stupne využívania palív

Súčasný trend v palivovom hospodárstve je nastavený na čo najefektívnejšie využívanie palív. Preto i v prípade spoločnej výroby elektrickej energie a tepla sa hľadali spôsoby ako ešte viac zefektívniť využívanie energického potenciálu paliva. Riešenie sa našlo vo vyšších kogeneračných stupňoch, konkrétne v trigenerácii resp. polygenerácii.

Trigenerácia a Polygenerácia – obe predstavujú technológiu, na základe ktorej sme schopní využívať energetický potenciál palív s vysokou efektívnosťou.

V prípade trigenerácie sa jedná o spoločnú výrobu elektrickej energie, tepla a chladu. Celý systém je zložený z kogeneračnej jednotky (KJ) produkujúcej elektrickú energiu spoločne s teplem a absorpčnej chladiacej jednotky produkujúcej chlad. Použitie trigeneračnej technológie rieši otázku, čo s vyrábaným teplom v čase, keď je jeho spotreba nízka, teda najmä v letných mesiacoch. Takto sa môže použiť na pohon absorpčnej chladiacej jednotky, ktorá je vhodná ku klimatizačnému alebo chladiarenskému využitiu. Výhoda absorpčného spôsobu chladenia je v porovnaní s klasickým kompresorovým najmä v tom, že sa na jej prevádzku nevyužíva elektrická energia, ale menej ušľachtaná tepelná energia, čím sa znížia náklady na jej prevádzku.

V prípade polygenerácie okrem elektrickej energie, tepla a chladu, vzniká i ďalší úžitkový produkt. Napríklad ak sa používa ako palivo bioplyn, tak pri jeho výrobe vzniká okrem samotného plynu i vyfermentovaný odpad v podobe digestátu, ktorý ak splní určité normy, môže byť v komerčnej sfére predávaný ako kvalitné hnojivo. Tým sa ešte väčšmi zvyšuje efektívnosť využívania biopalív. Ďalším príkladom by mohlo byť využívanie bioetanolu ako paliva do kogeneračnej jednotky, pri ktorého výrobe vzniká DDGS (tzv. suché liehovarnícke výpalky) využívané ako vysokoenergetické krmivo pre hovädzí dobytok. [19]

Nevýhodou v prípade všetkých pokročilých technológií spoločnej výroby, či už kogenerácie, trigenerácie resp. polygenerácie, je veľká výška počiatočnej investície a taktiež rozmery jednotlivých zariadení.

3 Porovnanie nákladnosti prevádzky energetických zariadení

Metodika porovnávania

- stanovenie modelového objektu s konkrétnym typom konvenčného zariadenia,
- stanovenie celkovej ročnej spotreby energie na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody (TÚV),
- porovnanie nákladnosti prevádzky použitého tepelného zariadenia a alternatívnych zariadení na biomasu.

pozn.: keďže nasledujúce porovnanie sa týka porovnávania kotla na zemný plyn, ktorý neprodukuje elektrickú energiu, ako energetickú spotrebu modelového RD budeme uvažovať len spotrebu energie na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody (TÚV).



Obrázok 14: Ilustračný obrázok riešeného RD

Ako modelový objekt sme si zvolili menší prízemný rodinný dom (RD), ktorého obytný priestor pozostáva z troch izieb (jedna spálňa a dve detské izby), kúpeľne, WC, kuchyne, obývacej miestnosti, vstupnej haly a predsieni. Celková podlahová plocha má rozmer $113,5 \text{ m}^2$ a vykurovací priestor činí 341 m^3 . Jedná sa o novostavbu so zateplením. RD je obývaný štvorčlennou rodinou s deťmi vo veku 10 -15 rokov. Celková tepelná strata resp. potrebný tepelný výkon daného objektu bol určený na hodnotu približne 10 kW, z čoho plynie potreba použiť tepelné zariadenie s výkonom okolo 13,5 kW (výkon kotla musí byť o 20 – 50 % vyšší ako je

potrebný výkon). V danom RD je preto na vykurovanie a ohrev teplej úžitkovej vody (TÚV) použitý kotol na zemný plyn firmy Protherm, ktorého parametre sú uvedené v tabuľke, *viď Tabuľka 8*. Objekt sa nachádza na nížinatom území, mierneho podnebia.

Výrobca / Typ	Protherm / Medveď 20 KLOM
Prevedenie	stacionárny kotol
Min. výkon	12 kW
Max. výkon	17 kW
Odvod spalín	komín
Cena	24200 Kč

Tabuľka 8: Parametre kotla Protherm Medveď 20 KLOM

Následne si určíme celkovú ročnú spotrebu tepla v danom objekte. Celková tepelná spotreba je tvorená energiou spotrebovanou na vykurovanie obytných priestorov a ohrev TÚV. Pre energiu na vykurovanie platí vzťah: [20]

$$Q_{vyk} = 24 \cdot 3600 \cdot \varepsilon \cdot Q_{max} \cdot d \cdot \left(\frac{t_i - t_{pr}}{t_i - t_e} \right) \quad [J/rok]$$

kde, Q_{vyk} – ročná spotreba energie na vykurovanie,

ε – korekčný súčiniteľ tepelných strát, volí sa v rozsahu (0,65 – 0,8) ,

Q_{max} – celková tepelná strata objektu (resp. výkon tepelného zariadenia),

d – počet vykurovacích dní za rok, tj. dni kedy teplota okolia klesla pod 13°C,

t_i – priemerná teplota vzduchu vo vykurovanom objekte,

t_e – najnižšia priemerná teplota z troch dní vykurovacieho obdobia,

t_{pr} – priemerná hodnota teploty okolia vo vykurovacom období,

pozn.: uvedené parametre sú závislé na konkrétnom riešenom objekte, preto je výpočet smerodajný len pre konkrétny prípad.

Dosadíme konkrétne hodnoty pre náš riešený prípad, a dostávame:

$$Q_{vyk} = 24 \cdot 3600 \cdot 0,72 \cdot 13500 \cdot 212 \cdot \left(\frac{20,2 - 3}{20,2 - (-13)} \right) = \underline{\underline{92,24 GJ/rok}}$$

Pre energiu spotrebovanú na ohrev TÚV platí vzťah: [20]

$$Q_{tuv} = \frac{a \cdot b \cdot (50 - t_{sv})}{3600 \cdot T} \cdot c_{vo} \cdot n \cdot 23 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} \quad [GJ/rok]$$

kde, Q_{tuv} – ročná spotreba energie na ohrev TÚV,

a – spotreba vody na jedného obyvateľa objektu (medzi 50 – 130 L / deň),

b – počet obyvateľov daného objektu,

t_{sv} – priemerná teplota studenej vody počas roky (medzi + 10 až + 12 °C),

T – počet hodín prevádzky ohrevu TÚV (volí sa 24 hodín),

c_{vo} – merná tepelná kapacita vody (4200 J/kg.K),

n – počet dní ohrevu teplej vody.

Dosadením konkrétnych hodnôt dostávame:

$$Q_{tuv} = \frac{90 \cdot 4 \cdot (50 - 11)}{3600 \cdot 24} \cdot 4200 \cdot 350 \cdot 23 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{25,34 GJ/rok}}$$

Celková spotreba energie na vykurovanie a ohrev TÚV sa určí ako:

$$Q_{celk} = Q_{tuv} + Q_{vyk}$$

$$Q_{celk} = 25,34 + 92,24 = \underline{\underline{117,58 GJ/rok}}$$

Ako alternatívne palivá na porovnanie so zemným plynom sme vybrali: palivové drevo, drevné pelety a drevné brikety. Čo sa spaľovacieho zariadenia týka, tak s kotlom spaľujúcim zemný plyn (*Protherm Medved' 20 KLOM*), ktorý je použitý v našom modelovom objekte, sme porovnávali konkrétne alternatívne spaľovacie zariadenia: kotol spaľujúci palivové drevo (*Atmos D 15*), splyňovací kotol na drevo (*Atmos DC 18S, 18kW*), kotol spaľujúci drevné pelety (*Atmos D 15 P*) a kotol spaľujúci drevné brikety (*Atmos DC 24 RS*). Všetky potrebné údaje i s ročnými energetickými nákladmi u jednotlivých zariadení sú v nasledujúcej tabuľke, *viď. Tabuľka 9*.

Palivo	účinnosť procesu	priemerná výhrevnosť paliva	priemerná cena paliva	ročná spotreba paliva	ročné energetické náklady	cena zariadenia
zemný plyn	90%	33,7 MJ/m ³	10,3 Kč/m ³	3875 m ³	39913 Kč	24200 Kč
drevné pelety	87%	18 MJ/kg	3600 Kč/t	7,5 t	27000 Kč	42500 Kč
drevné brikety (splyň.)	85%	18 MJ/kg	3600 Kč/t	7,7 t	27720 Kč	46200Kč
palivové drevo (spaľ.)	65%	14,8 MJ/kg	790 Kč/t	12,2 t	9638 Kč	25300 Kč
palivové drevo (splyň.)	85%	14,8 MJ/kg	790 Kč/t	9,4 t	7426 Kč	33100 Kč

Tabuľka 9: Ročné náklady na energiu podľa použitého paliva a technológie

pozn.: k nákladom na zemný plyn je nutné pripočítať mesačnú tarifu približne 150 Kč.

Z tabuľky je zrejmé, že v porovnaní so zemným plynom sú náklady u všetkých alternatívnych palivách z biomasy nižšie, a to v rozmedzí od 30 do 80 %. Naopak ceny zariadení na využívanie biopalív sú najmä u tých ušľachtilejších (pelety, brikety), približne dvojnásobné.

Zhodnotenie celkových ročných nákladov na tepelnú energiu zvýšených o cenu zariadenia, prepočítanú na rok užívania (uvažujeme životnosť 15 rokov) a tarifné poplatky (len u zemného plynu), vykonáme pre každé palivo zvlášť:

- zemný plyn $\rightarrow 39913 + 12 \cdot 150 + 1614 = \underline{\underline{43327Kč}}$
- drevné pelety $\rightarrow 27000 + 2834 = \underline{\underline{29834Kč}}$
- drevné brikety $\rightarrow 27720 + 3080 = \underline{\underline{30800Kč}}$
- palivové drevo (spaľ.) $\rightarrow 9638 + 1687 = \underline{\underline{11325Kč}}$
- palivové drevo (splyň.) $\rightarrow 7426 + 2207 = \underline{\underline{9633Kč}}$

Zo zistených hodnôt celkových ročných nákladov na tepelnú energiu môžeme hodnotiť, že všetky alternatívne zariadenia majú v porovnaní s kotlom na zemný plyn nižšie ročné prevádzkové náklady. Nemožno však nespomenúť vysokú mieru komfortu pri využívaní zemného plynu, keďže sa u zariadení spaľujúcich zemný plyn jedná o plne automatickú prevádzku, na rozdiel od uvedených alternatívnych zariadení, ktoré majú vyššie nároky na obsluhu.

Záver

Biomasa patrí medzi najpreferovanejší druh s pomedzi obnoviteľných zdrojov energie, keďže sa jedná o technológiu využiteľnú takmer na celom svete. Jej využitie sa uplatňuje i v problematike diverzifikácie energetických zdrojov, ktorá je veľmi závažná, keďže väčšinou sa využívanie len jedného zdroja spája s nebezpečenstvom možnosti jeho vyčerpaní. Tomuto sa snažíme predchádzať vývojom nových alternatívnych zdrojov energie medzi ktoré energia z biomasy bezpochyby patrí.

Hlavným dôvodom a podstatou využívania energie z biomasy, je jej neutrálny vplyv na životné prostredie, čo sa týka produkcie skleníkových plynov. Rozvoj v uplatňovaní energie z biomasy so sebou prináša veľa pozitív, ktoré boli a sú rozhodujúce v snahe o jej presadenie medzi obnoviteľnými zdrojmi energie, ako dobrej alternatívy resp. kombinácie k v súčasnosti najvyužívanejším druhom palív, a to palivám fosílnym. Nemožno hovoriť o úplnom nahradení fosílnych palív, palivami na báze biomasy, ale každé zníženie ich spotreby so sebou prináša zníženie záťaže na životné prostredie, ktorá v poslednom období neúmerne rýchlo rastie spolu s rozvojom ľudskej populácie. Nevýhodou využívania biomasy na energetické účely býva zväčša finančná náročnosť zariadení, ktoré sú schopné biopalív využívať.

Nastolený trend čo najefektívnejšieho využívania palív, ktorým sa zabezpečí toľkokrát spomínané znižovanie emisií skleníkových plynov, je zrejmí i z rozvoja zavádzania kogeneračných technológií v posledných rokoch. Ako už vieme jedná sa o spoločnú výrobu elektrickej energie a tepla kogeneračnými zariadeniami, v ktorých sa dosahuje účinnosti na úrovni 80 – 90 %. Kogenerácia však zďaleka neznamena technologické maximum v efektívnom využívaní energetického potenciálu palív. Existujú i jej vyššie stupne, ako trigenerácia, u ktorej sa jedná okrem výroby energie elektrickej a tepelnej i o výrobu chladu na báze absorpčného chladenia, čo nachádza uplatnenie pri klimatizácii budov resp. polygenerácia. Poligeneráciou okrem už spomínaných troch typov energií získavame i výstupný, ďalej využiteľný produkt. Príkladom polygeneračnej výroby je bioplynová stanica, či proces výroby a energetického využitia bioetanolu.

Veľké pozitívum vo zvyšovaní podielu obnoviteľných zdrojov energie, ktorých je i biomasa súčasťou, na celosvetovej produkcii energie je nielen v znižovaní negatívnych dopadov z využívania fosílnych palív, ale i v šetrení už i tak značne zúžených zásob týchto palív. Je potrebná, aby toto šetrenie pokračovalo minimálne do doby, kedy budú vyvinuté nové technológie v získavaní a využívaní kvalitnejších druhov energií a bez negatívnych dopadov na životné prostredie.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Pepich, Štefan. : *Teplota tavitelnosti popola*. s.l. : Technický a skúšobný ústav poľnohospodársky, Rovinka.
- [2] Jandačka, J. : *Príklady správnej praxe pri vykurovaní biomasou*. s.l. : Jozef Bulejčík - vydavateľstvo a tlač, 2009. ISBN 978-80-969595-8-7.
- [3] Ochodek, T. - Koloničný, J. - Branc, M.: *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava , 2007. ISBN 978-80-248-1426-1.
- [4] Ochodek, T. - Koloničný, J. - Janásek, P.: *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti biomasy*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostarava, 2006. ISBN 80-248-1207-X.
- [5] Mikulík, M. - Jandačka J.: *Postupy správneho vykurovania*. s.l. : Jozef Bulejčík - vydavateľstvo a tlač, 2009. ISBN 978-80-969595-7-0.
- [6] Patorek, Z. - Kára, J. - Jevič, P.: *Biomasa, obnoviteľný zdroj energie*. Praha 8 : FCC Public, 2004. ISBN: 80-86534-06-5.
- [7] Jandačka, J. - Malcho, M.: *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina : GEORG - vydavateľstvo a tlač, 2007. ISBN 978-80-969161-4-6.
- [8] Šebánek, J.: *Fyziologie rostlin*. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1983.
- [9] Verner, V.: *Alternativní pelety*. [online]. 2007 [cit. 2010-02-14].
Dostupné z : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/alternativni-pelety>
- [10] Petříková, V. - Punčochář, V.: *Biomasa - alternativní palivo z hlediska chemického složení*. [online]. 2007 [cit. 2010-02-16].
Dostupné z : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-alternativni-palivo-z-hlediska-chemickeho-slozeni>
- [12] Janásek, P.: *Kontinuální měření vlhkosti biomasy*. Odborný seminár Energie z biomasy IV. Brno: FSI VUT, 2005.
- [13] Lieskovský, M.: *Výroba dreveného uhlia*. [online]. 2009 [cit. 2010-03-02].
Dostupné z : <http://web.tuzvo.sk>

- [14] Stupavský, V.: *Dřevní štepka - zelená, hnědá, bílá*. [online]. 2007 [cit. 2010-03-03].
Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
- [15] *Smernica 2004/8/EC Európskeho parlamentu a Rady*. [online]. 2004 [cit. 2010-03-08].
Dostupné z: http://www.energy.eu/directives/l_05220040221en00500060.pdf
- [16] Tintěra, L.: *Kogenerace - výroba elektrické energie a tepal (I)*. [online]. 2005 [cit. 2010-03-12].
Dostupné z www: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2912&h=203&pl=49>
- [17] Kubica, J.: *Technologický model výroby a spracovania bioplynu*. Bratislava: FEI STU, 2006. 42 s. Diplomová práce. Vedúci práce: prof. Ing. František Janíček, PhD.
- [18] *Kogenerácia - kombinovaná výroba elektrickej energie a tepla*. [online]. c2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z: <http://www.spp.sk/download/poradime-vam-vz-a-obce/Kogeneracia.pdf>
- [19] Friedl, A.: *Polygeneration*. [online]. 2005 [cit. 2010-05-05].
Dostupné z: <http://www.blb.bmlf.gv.at>
- [20] Vranay, F.: *Porovnanie nákladov na energiu v domácnosti pri rôznych druhoch paliva*. [online]. 2004 [cit. 2010-05-10].
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2063>

Zoznam použitých obrázkov

Obrázok 1: Drevná štiepka

(Zdroj: <http://www.asb.sk/?gallery=2907&image=19956>)

Obrázok 2: Drevné pelety

(Zdroj: <http://www.asb.sk/?gallery=2907&image=19956>)

Obrázok 3: Karbonizačná retorta a a schéma fluidného pyrolýzneho zariadenia

(Zdroj: [3])

Obrázok 4: Úspora energie použitím kogenerácie

(Zdroj: <http://www.intechenergo.sk/sekcie/kogeneracia/co-je-kogeneracia>)

Obrázok 5: Schéma kogneračnej jednotky so spaľovacím motorom

(Zdroj: <http://www.spp.sk/download/poradime-vam-vz-a-obce/Kogeneracia.pdf>)

Obrázok 6: Príklad plynového tepelného obehu (Ottov cyklus)

(Zdroj: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/46/T_cycle_otto.png/250px-T_cycle_otto.png)

Obrázok 7: Schéma kogeneračnej jednotky so spaľovacou turbínou

(Zdroj: <http://www.spp.sk/download/poradime-vam-vz-a-obce/Kogeneracia.pdf>)

Obrázok 8: Porovnávací obeh plynovej turbíny

(Zdroj: http://sk.wikipedia.org/wiki/S%C3%BAbor:T_cycle_Brayton.png)

Obrázok 9: T - s diagramy RC cyklu a ORC cyklu

(Zdroj: http://image.absoluteastronomy.com/images/encyclopediainages/i/id/ideal_and_real_organic_rankine_cycle.jpg)

Obrázok 10: Príklad schémy zariadenia s parnou turbínou na báze RC cyklu

(Zdroj: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/biomasa/sprava_biomasa.pdf)

Obrázok 11: Príklad schémy zariadenia na báze ORC cyklu

(Zdroj: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/biomasa/sprava_biomasa.pdf)

Obrázok 12: Príklad schémy kogeneračného zariadenia s paroplynovým cyklom

(Zdroj: <http://www.spp.sk/download/poradime-vam-vz-a-obce/Kogeneracia.pdf>)

Obrázok 13: Schéma bioplynovej stanice

(Zdroj: http://www.odpady-dobransy.cz/data/editor/30cs_1.jpg)

Obrázok 14: Ilustrčný obrázok riešeného RD

(Zdroj: <http://www.hrubaborsa.sk/domy>)